



1 **MANUAL BASICO SOBRE MEDICIONES Y TOMA DE MUESTRAS**
2 **AMBIENTALES Y BIOLOGICAS EN SALUD OCUPACIONAL**
3
4 **CUARTA EDICION ACTUALIZADA 2026**

BORRADOR



- 5 **PRIMERA PARTE**
- 6 **AGENTES FISICOS**

BORRADOR



7 **CAPÍTULO I**

8 **RADIACIONES IONIZANTES**

9 10 **1.1 INTRODUCCIÓN**

11 Se denominan radiaciones ionizantes a aquellas radiaciones electromagnéticas y corpusculares que
12 poseen gran energía y que, al interactuar con la materia, producen ionización. Las más utilizadas son los
13 rayos X, que se producen en equipos generadores de radiaciones ionizantes a través de la interacción de
14 electrones altamente energéticos con la materia. Otras son, la radiación gamma, partículas beta y alpha,
15 que se originan por procesos de desintegración radiactiva. También, con menor frecuencia en el país, hay
16 actividades laborales en las que se encuentran involucradas radiaciones ionizantes constituidas por
17 neutrones.

18 Con vista a disminuir el riesgo de los efectos nocivos a la salud por exposiciones a estas radiaciones se
19 deberá mantener un programa adecuado de radioprotección que incluya aspectos de optimización y de
20 vigilancia radiológica.

21 22 **1.2 VIGILANCIA RADIOLÓGICA**

23 En Chile, de acuerdo a la regulación vigente, la vigilancia de las exposiciones ocupacionales a radiaciones
24 ionizantes se centra en cada una de las personas trabajadoras, estableciéndose la utilización de
25 dispositivos denominados dosímetros personales, con los cuales, en principio, se registran todas las
26 exposiciones por irradiación externa. Adicionalmente, cuando corresponde, para las situaciones de
27 incorporación de materiales radiactivos, se debe complementar con evaluaciones por dosimetría interna.

28 Los dosímetros personales utilizados para la vigilancia de la exposición por irradiación externa, constituyen
29 una medición ambiental que permite acumular y registrar la dosis que recibe la persona en un periodo
30 determinado, en el desempeño de sus funciones con exposición a radiaciones ionizantes. Además, en
31 forma complementaria, se realizan evaluaciones con detectores de radiación activos e instantáneos,
32 conocidos como levantamientos radiométricos, evaluaciones de puestos de trabajos u otros.

33 Este último tipo de evaluaciones son las realizadas frecuentemente en procesos de autorización de las
34 instalaciones radiactivas y también, con alguna frecuencia o ante modificaciones, como parte de la
35 verificación de las condiciones de estas.

36 37 **1.2.1 Vigilancia con detectores pasivos o retardados. Dosimetría Personal para Irradiación Externa.**

38 Existen distintas técnicas dosimétricas para realizar esta vigilancia, incluso existen en el mercado
39 detectores activos, aunque estos últimos, en Chile no se han habilitado para efectuar la vigilancia
40 radiológica por dosimetría personal establecida en la regulación vigente, para lo cual, solo se pueden
41 utilizar detectores de tipo pasivo o retardado.

42 Los detectores activos se pueden utilizar solo en forma complementaria a la evaluación y gestión del riesgo
43 o para detectar algunas situaciones de emergencia.

44 Los dosímetros en uso para estos efectos son de los siguientes tipos:

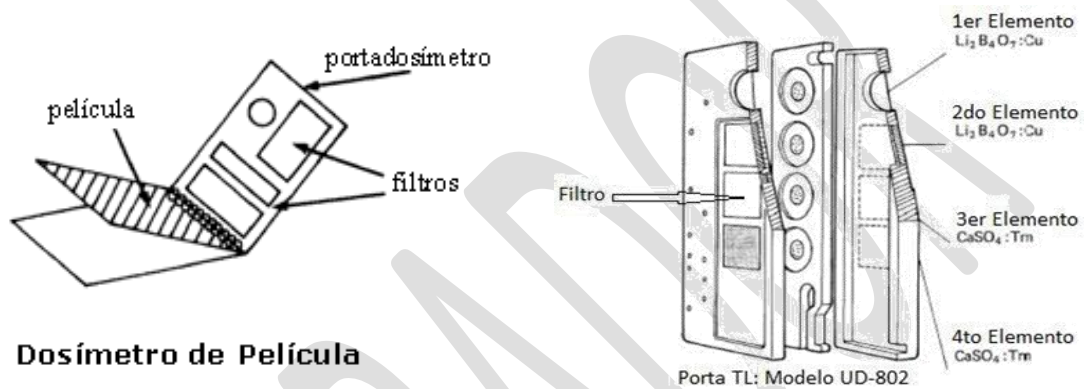
45
46 **a. Dosimetría Fílmica.** Se utilizan para dosimetría externa en un rango de dosis entre 0,05 mSv a 0,5

47 Sv. Es una de las técnicas más antigua y es la menos utilizada actualmente a nivel mundial. Cada
 48 película es de un único uso. Una ventaja es que queda un registro físico de su resultado y puede
 49 volver a leerse, además, permite conocer los ángulos de incidencia de la radiación.

50 **b. Dosimetría Termoluminiscente (TLD).** Se emplean en un rango amplio de dosis entre 0,01 mSv -
 51 10 Sv. Son reutilizables y pueden ser leídos solo una vez. Son de pequeño tamaño por lo que se
 52 utilizan para dosimetría de extremidades y cristalino.

53 **c. Dosimetría por Luminiscencia Ópticamente Estimulada (OSL).** Son dispositivos reutilizables y
 54 permiten más de una lectura. Su rango de medición está entre 0,01 mSv - 10 Sv. Son de pequeño
 55 tamaño por lo que también se utilizan para dosimetría de extremidades y cristalino.

56



Dosímetro de Película

Porta TL: Modelo UD-802

57

Figura 1.1 Algunos Tipos de Dosímetro.

58

59

60 La magnitud operacional utilizada para la vigilancia radiológica personal, es la dosis equivalente personal
 61 profunda $H_p(10)$, la cual corresponde a la dosis equivalente en tejido blando medida a una profundidad de
 62 10 mm, a partir de un punto especificado sobre el cuerpo humano.

63

64

Tabla 1.1 Principales magnitudes utilizadas para la vigilancia de la irradiación externa.

Exposición	Vigilancia	Magnitud de Protección	Magnitud Operacional (Sv)	
			Monitoreo de área	Monitoreo individual
Radiación Externa	Cuerpo entero	E	$H^*(10)$	$H_p(10)$
	Piel y extremidades	H_T	$H^*(0,07, \alpha)$	$H_p(0,07)$
	Ojos	H_T	$H^*(3, \alpha)$	$H_p(3)$

65

E : Dosis efectiva.

66

H_T : Dosis equivalente en órgano.

67

α : Alpha. Ángulo de incidencia de la radiación.

68

$H_p(d)$: Dosis equivalente personal, a profundidad d en milímetros.

69

$H^*(d)$: Dosis equivalente ambiental, a profundidad d en milímetros.

70 De forma complementaria se recomienda consultar la [Nota Técnica N° 034 Trabajador\(a\)](#)
71 [Ocupacionalmente Expuesto\(a\) a Radiaciones Ionizantes](#) y [Nota Técnica 93: Estimación de](#)
72 [magnitudes de protección para irradiación externa a partir de la medición de magnitudes](#)
73 [operacionales en el campo de la protección radiológica ocupacional](#) disponibles en nuestra
74 página web: <https://www.ispch.cl/salud-de-los-trabajadores/notas-tecnicas/>

75 Para irradiaciones de cuerpo entero se busca estimar la dosis efectiva (E), la que frecuentemente
76 se asume muy similar a lo que se obtiene a partir de mediciones referidas a $H_p(10)$. Por otro
77 lado, para irradiaciones de extremidades y cristalino se busca estimar la dosis equivalente, lo
78 que se hace calibrando a profundidades de 0,07 mm y 3 mm, respectivamente.

79 Para la utilización de dosímetros personales se deberá tener presente:

- 80 a. Elegir el dosímetro adecuado teniendo en cuenta el tipo de radiación a la que se va a estar
81 expuesto.
- 82 b. El dosímetro es de uso personal e intransferible. Puede usarse más de un dosímetro cuando
83 sea necesario.
- 84 c. El dosímetro de cuerpo entero debe usarse en la región anterior del tórax, alrededor del
85 área precordial. Cuando se utiliza delantal plomado, el dosímetro deberá ubicarse bajo el
86 delantal.
- 87 d. Fuera de las horas de trabajo los dosímetros deberán dejarse en lugares alejados de la zona
88 de radiación y de otras fuentes o agentes que lo afecten.
- 89 e. El dosímetro no deberá ser sometido a irradiaciones innecesarias o que no correspondan a
90 las exposiciones que se espera medir. De igual manera, no se deberá exponer directamente
91 a otras fuentes energéticas como, por ejemplo, fuentes de calor o campos
92 electromagnéticos.
- 93 f. Los dosímetros deberán cambiarse con la periodicidad que se establezca en la normativa
94 vigente.
- 95 g. Los dosímetros, al ser provistos por un empleador específico, se deben utilizar
96 exclusivamente para exposiciones asociadas a éste.

97 De forma complementaria se recomienda consultar la [Nota Técnica N°54: "Algunas](#)
98 [Consideraciones sobre el uso del Dosímetro"](#), disponible en
99 <https://www.ispch.cl/sites/default/files/NotaTecnicaUsoDosimetro.pdf>

100

101 **1.2.1.1 Evaluaciones de Puesto de Trabajo. Detectores activos o de lectura directa.**

102 Los principales detectores utilizados para la medición de las exposiciones ocupacionales a
103 radiaciones ionizantes son Cámaras de Ionización o Geiger Müller, que permiten, según sus
104 configuraciones específicas, detectar esencialmente radiación X, gamma, beta o alpha.
105



106
107
108
109
110
111
112
113

Figura 1.2. Detectores radiaciones ionizantes.

La estructura básica de estos detectores está compuesta por un volumen de gas con el cuál interactúa la radiación, donde las partículas cargadas generadas se movilizan en la dirección del colector con carga eléctrica opuesta, alterando la intensidad de corriente eléctrica que circula por un sistema, la cual, es amplificada y traducida en información hacia el operador referida en términos de dosis o tasas de dosis (por ejemplo, mSv, $\mu\text{Sv/h}$, mR o mR/h).

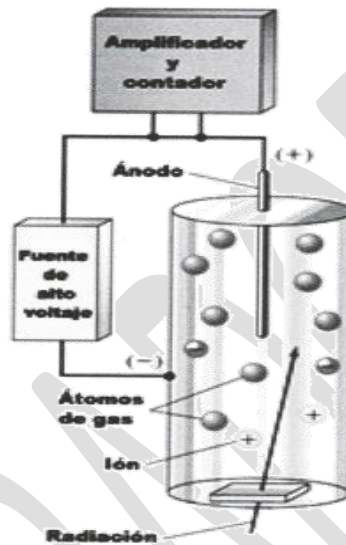


Figura 1.3. Esquema de un detector.

114
115

En la práctica, las Cámaras de Ionización son las más utilizadas para equipos generadores de rayos X, las que generan lecturas más reproducibles para eventos cortos de radiación. Por otra parte, para emisiones relativamente más continuas, como las asociadas a materiales radiactivos, son más utilizados los detectores Geiger Müller.

1.2.1.2 Principales aspectos a considerar en el uso de los detectores.

120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135

- a. **Operador del detector.** El evaluador se expondrá a radiaciones ionizantes, por lo que, según la normativa vigente, esta persona debe considerarse como ocupacionalmente expuesta, de acuerdo a ello, requerirá Autorización de Desempeño en Instalaciones Radiactivas y control dosimétrico personal.
- b. **Calibración del equipo.** Estos equipos en general tienen inicialmente una calibración provista por el fabricante. Luego, esta calibración deberá ser efectuada en un laboratorio, nacional o no, con trazabilidad a los patrones internacionales reconocidos. Estas calibraciones se reconocen como vigentes por periodos de dos años y de preferencia referidas a la magnitud operacional Equivalente de Dosis Ambiental $H^*(10)$.
- c. **Operación.** Se deberá considerar:
 - Identificar el tipo de radiación ionizante, la práctica y los puntos a evaluar, así como, la determinación del detector adecuado a utilizar.
 - Antes de realizar cualquier medición con exposición a radiaciones ionizantes, se debe verificar la operatividad del equipo.

- 136 - Energizar el detector y esperar su estabilización según el tiempo recomendado por el
137 fabricante.
- 138 - Luego de lo anterior, realizar las mediciones en los lugares planificados; para ello, según
139 el equipo, el evaluador deberá considerar si tendrá o no que permanecer junto al mismo
140 al momento de la exposición, por lo tanto, determinar la necesidad de la utilización de
141 elementos de protección personal u otros medios de protección radiológica.
- 142 - Realizar la medición considerando la magnitud a evaluar, las escalas a utilizar, los tiempos
143 tanto del evento de radiación como de respuesta del detector. Normalmente la magnitud
144 utilizada es la Tasa de Dosis.
- 145 - Ubicar el detector considerando la orientación hacia la cual resulte más sensible; esta
146 información debiera ser provista por el fabricante.
- 147 - Considerar que para algunas evaluaciones es necesaria la utilización de elementos como
148 fantomas, maniqués o simuladores de tejido, que producen dispersión de la radiación
149 para aproximarse a las condiciones de exposición de las actividades laborales. Para estas
150 evaluaciones se debe evitar la exposición de pacientes.
- 151 **d. Interpretación de Resultados.** Considerar las unidades y magnitudes de acuerdo al
152 protocolo a utilizar y a los niveles con los cuales se va a comparar.

153

154 **1.2.2 Vigilancia radiológica por dosimetría interna.**

155 La dosimetría interna es la medición y evaluación de la dosis de radiación ionizante que se
156 absorbe en el cuerpo humano después de que se han incorporado radionucleidos a través de la
157 inhalación, ingestión, o absorción cutánea. Se utiliza para estimar la cantidad de radiación que
158 pueda afectar diferentes órganos o sistemas del cuerpo en situaciones de incorporación de
159 materiales radiactivos.

160 Se evalúa, de manera directa, mediante la utilización de un contador de cuerpo entero, o de
161 manera indirecta, obteniendo muestras biológicas de orina, sangre y heces, entre otros.

162 En cada situación de exposición ocupacional se debe evaluar la pertinencia de la utilización,
163 forma y periodicidad de este tipo de vigilancia.

164 En la actualidad estas técnicas solo se encuentran disponibles en Chile en la Comisión Chilena
165 de Energía Nuclear.

166

167 **1.2.3 Vigilancia radiológica por dosimetría citogenética.**

168 La dosimetría citogenética es un método para estimar la dosis de radiación ionizante recibida
169 por una persona, basándose en los cambios observados en sus cromosomas. Se utiliza
170 principalmente en situaciones de exposiciones accidentales radiológicas o nucleares. Estas
171 técnicas son sensibles, en general, a exposiciones agudas (periodos inferiores a dos días)
172 superiores a 100 mSv, en irradiaciones de cuerpo entero.

173 En la actualidad esta técnica es realizada en el país por la Comisión Chilena de Energía Nuclear,
174 manteniendo cierta capacidad, la cual puede ser ampliada al activarse convenios internacionales
175 si alguna situación lo amerita. Por lo anterior, se entiende que la utilización de estas técnicas es
176 solo para situaciones debidamente justificadas.



177 La dosimetría citogenética analiza cambios en los cromosomas en cultivos de linfocitos causados
178 por la radiación. Estos cambios, como cromosomas modificados o reorganizados, pueden ser
179 indicadores de la dosis recibida.

180 Existen otras técnicas para analizar exposiciones agudas recientes, otras para exposiciones
181 crónicas y también para exposiciones agudas ocurridas pasado largo tiempo, se debe considerar
182 que estas técnicas utilizan indicadores que no son específicos de exposición a radiaciones
183 ionizantes.

BORRADOR

184 **1.2.4 Documentos de referencia relacionados.**

185 En cumplimiento de las atribuciones emanadas del Decreto Supremo N° 3, de 1985, del
186 Ministerio de Salud, el Instituto de Salud Pública de Chile ha establecido documentos de
187 referencia para realizar evaluaciones de puestos de trabajo relativos a esta materia, los cuales
188 se pueden encontrar en el siguiente enlace de nuestra página web: [https://www.ispch.cl/salud-](https://www.ispch.cl/salud-de-los-trabajadores/publicaciones-de-referencia/)
189 [de-los-trabajadores/publicaciones-de-referencia/](https://www.ispch.cl/salud-de-los-trabajadores/publicaciones-de-referencia/)

190

191 **1.2.5 Referencias bibliográficas relacionadas.**

- 192 **1.** ICRP 2007, Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección
193 Radiológica, CIPR, Publicación 103, Vienna, 2007.
- 194 **2.** EUROPEAN COMMISSION, FAO, IAEA, ILO, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAHO,
195 UNEP, WHO, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic
196 Safety Standards, IAEA, Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna, 2014.
- 197 **3.** IAEA, Occupational Radiation Protection, General Safety Guide No. GSG-7, IAEA, Vienna,
198 2018.
- 199 **4.** IAEA, International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and
200 for the Safety of Radiation Sources, Safety Series 115, Vienna, 1996.
- 201 **5.** OIT, Protección de los trabajadores contra las radiaciones (radiaciones ionizantes),
202 Ginebra, 1987.
- 203 **6.** ICRU Report 60, Magnitudes y Unidades Fundamentales para la Radiación Ionizante,
204 1998.
- 205 **7.** ICRU Report 85, Fundamental quantities and units for ionizing radiation, 2011.
- 206 **8.** ICRP 2011, Protección Radiológica en Medicina, Publicación 105, Vienna, 2011.
- 207 **9.** IAEA, Calibration of Radiation Protection Monitoring Instruments, Safety Reports Series,
208 SRS-16, Vienna, 2000.
- 209 **10.** IAEA, Cytogenetic Analysis for Radiation Dose Assessment, Technical Reports Series,
210 TRS-405, Vienna, 2001.

211 **CAPÍTULO II**

212 **RUIDO**

213

214

215 **2.1 INTRODUCCIÓN**

216 El sonido se puede definir como una perturbación física que se propaga en un medio (aire, agua
217 o sólido), produciendo variaciones de presión que pueden ser percibidas por el oído humano o
218 detectadas mediante instrumentos.

219 La definición de ruido, por otro lado, considera algunos elementos subjetivos, definiéndose
220 como un sonido desagradable, molesto, no deseado, que perturba o produce daño.

221 Para la evaluación cuantitativa del sonido o el ruido, es necesario contar con equipamiento ad
222 hoc: sonómetros, dosímetros, calibradores de terreno y pistófonos, con los cuales es posible
223 determinar con precisión los niveles sonoros y la dosis de ruido a la que están expuestos los
224 trabajadores en sus lugares de trabajo.

225 Con todo, para la medición de estos parámetros es necesario atender tanto a las consideraciones
226 previas como aquellas que se presentan durante la medición en terreno, para la debida
227 aplicación de la metodología de medición. Ambas consideraciones se detallan en el presente
228 Manual, de modo que las conclusiones a las que se llegue y que involucren trabajadores
229 expuestos a ruidos de origen ocupacional, sean representativas del trabajo habitual, en función
230 de los procesos, maquinarias, equipamiento y máquinas-herramientas utilizados, y aspectos
231 relacionados con el entorno mismo del lugar de trabajo, precisando finalmente la dosis de ruido
232 a la que dichos trabajadores están sometidos durante el tiempo de exposición.

233 Así, el presente documento permite la aplicación de los estándares legales establecidos en la
234 normativa vigente¹, considerando las interrogantes más frecuentes en su empleo en terreno. Se
235 incluye, por tanto, un análisis en detalle del procedimiento de medición y algunos aspectos
236 concernientes a consideraciones y recomendaciones técnicas y administrativas, que servirán de
237 apoyo al usuario al momento de aplicar dicha normativa. En este sentido, el Manual se
238 encuentra dirigido principalmente a aquellas personas que realizan labores de inspección,
239 evaluación y fiscalización en el ámbito de la higiene ocupacional, enfocada en el riesgo físico
240 ruido y a todos aquellos que trabajan de una u otra manera vinculados al control de ruido
241 ocupacional.

242

243 **2.2 EQUIPAMIENTO**

244

245 **2.2.1 Generalidades**

246 El equipamiento descrito en este Manual corresponde al necesario para efectuar mediciones
247 conducentes a conocer el nivel de exposición a ruido de los trabajadores en los lugares de
248 trabajo.

249 Para la evaluación cuantitativa del ruido es necesario contar con un sonómetro, dosímetro,
250 calibrador de terreno o pistófono, con los cuáles es posible determinar finalmente con precisión

¹ Decreto Supremo 594/99 del MINSAL que Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, o el que lo reemplace.

251 la Dosis de Ruido Diaria a la que está(n) expuesto(s) el(os) trabajador(es) en su puesto de trabajo.
252 Dicho equipamiento debe contar con su certificado de calibración periódica vigente.

253 En este sentido, el instrumento a utilizar debe ser apto para medir lo que se quiere medir. Para
254 tal efecto, es pertinente y atingente referirse a la **Guía para la calibración y mantenimiento de**
255 **la instrumentación acústica utilizada en la medición de ruido, versión 4.0 año 2021²,**
256 establecida por este Instituto, a fin de verificar que el instrumento cumpla con cada una de las
257 normas de referencia en la materia.
258

259 **2.2.2 Características generales y específicas del equipamiento**

260 **Sonómetro.**

Instrumento que conceptualmente responde ante el sonido de una forma aproximada a como lo hace el oído humano, dando medidas objetivas y reproducibles

Las mediciones de niveles de ruido continuo equivalente pueden efectuarse con un sonómetro integrador promediador que cumpla, como mínimo, con las exigencias señaladas para un instrumento Tipo 2, según lo señalado en las siguientes normas o las sucesivas que las reemplacen:

- a. IEC 60050-651:2014 International Electrotechnical Vocabulary (IEV) - Part 651: Live working
- b. IEC 60804: 1985. Integrating-averaging sound level meters (en revision).
- c. UNE-EN 60651:2004 Sonómetros.
- d. UNE-EN 60804: 2002. Sonómetros integradores promediadores.
- e. IEC 61672-1: 2002. Electroacoustics. Sound level meters. Part 1: Specifications (en revision).

Figura 2.1. Sonómetro Promediador – Integrador



261

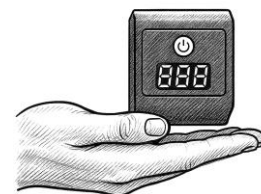
262 **Calibradores de Terreno o Pistófonos**

Aparato destinado a comprobar la respuesta de un medidor (sonómetro o dosímetro) con el fin de ajustarlo (por las condiciones de temperatura, presión y humedad presentes en el lugar de la medición) si aquella fuera errónea. En este sentido, el calibrador permite ajustar la respuesta del micrófono medidor de acuerdo a las condiciones medioambientales presentes en el lugar de la medición.

Los calibradores son específicos para cada sonómetro y/o dosímetro de ruido, de acuerdo a la arquitectura que desarrolle el fabricante, quién ha de señalar específicamente esta configuración.

El instrumento de medición utilizado, ya sea sonómetro o dosímetro, deberá contar con su respectivo calibrador acústico, específico para cada marca y modelo, el cual debe cumplir con las exigencias señaladas en las normas IEC 942, "IEC 60942-2003.

Figura 2.2. Calibrador Acústico de Terreno (digital)



² [Guía para la calibración y mantenimiento de la instrumentación acústica utilizada en la medición de ruido](#)

Electroacoustics. Sound Calibrators”, para clase 2 o superior, o las normas que las reemplacen

263

264 **Dosímetro de Ruido**

Monitor de uso personal que cuantifica constantemente la energía acústica acumulada durante un período de tiempo, usando un micrófono y circuitos similares a los medidores de presión sonora

Los dosímetros que se utilizan para determinar la Dosis de Ruido, deberán cumplir con la norma **IEC 61252:2025 Electroacoustics – Personal sound exposure meters.**

Figura 2-3: Dosímetro de Ruido



265

266 **2.2.3 Certificación y Frecuencia de la Calibración del Equipamiento**

267 Tanto el instrumento de medición como su respectivo calibrador acústico, deberán contar con
268 su certificado de calibración periódica vigente.

269 Los instrumentos deberán calibrarse, de acuerdo a lo señalado en la **Guía para la calibración y**
270 **mantenimiento de la instrumentación acústica utilizada en la medición de ruido, versión 4.0**
271 **año 2021**³, en cumplimiento con lo señalado en las normativas especificadas y detalladas en los
272 párrafos anteriores.

273 La periodicidad de las calibraciones será determinada por el usuario, dentro de los márgenes
274 establecidos por el organismo de referencia en la materia. Para tal fin, el usuario puede tomar
275 en consideración, al menos, los antecedentes obtenidos de los chequeos previos y posteriores
276 a las mediciones (calibraciones de terreno y su posterior verificación), uso y las condiciones de
277 almacenamiento y mantenimiento del equipamiento.

278

279 **2.3 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA MEDICIÓN**

280 Con la finalidad de evitar errores en la determinación de la dosis de ruido de los trabajadores a
281 evaluar por puesto de trabajo, es necesario chequear que el instrumento a utilizar esté en
282 buenas condiciones, esto es, que no presente abolladuras atribuibles a golpes por caídas u otras
283 causas, que no existan piezas sueltas, trizaduras en la pantalla, falta o rotura de teclas, etc.

284 Asimismo, es importante verificar el día anterior a la medición, que las baterías o pilas a usar en
285 el equipamiento estén en buenas condiciones, de modo de concurrir preparado y dotado de
286 recambios, en el caso de que fuese necesario, que permitan una continuidad en la medición.

287 En el caso de los dosímetros de ruido es necesario verificar que la pinza de sujeción a la ropa del
288 trabajador esté en buenas condiciones. Con esto se evita que el micrófono quede con una

³ [Guía para la calibración y mantenimiento de la instrumentación acústica utilizada en la medición de ruido](#)

289 movilidad tal que se suelte o no permita posicionarlo en la ubicación más cercana al oído del
290 trabajador a evaluar. En este sentido, es recomendable usar una cinta de pegado (tipo huincha
291 aisladora o similar) como sistema de fijación adicional, que permita adherir con firmeza a la ropa
292 del trabajador, tanto el cable del micrófono como la pinza. De esta forma, además, se evitará
293 que el micrófono roce con la ropa del trabajador, induciendo ruido en la medición que se
294 traducirá en un valor erróneo de exposición.

295

296 **2.3.1 Estado de los Accesorios**

297 De forma previa a la medición, será necesario verificar el estado de accesorios tales como:

298 1. Protector Antiviento: Para utilizarlo si las condiciones de medición hacen necesario contar
299 con tal dispositivo. Es decir, cuando el viento o salidas de ductos de ventilación ubicados
300 dentro de un recinto, o en equipos o herramientas, hagan que las mediciones presenten
301 valores alterados por el flujo de aire sobre el micrófono del sonómetro o dosímetro de
302 ruido.

303 2. Trípode: Se recomienda utilizar este accesorio para facilitar el soporte del sonómetro, en
304 el caso de aplicar el criterio de estabilización sin la presencia del trabajador⁴, evitando
305 sobreesfuerzo del evaluador y variaciones en la posición del equipo durante todo el
306 tiempo a medir.

307 3. Linterna: Este accesorio permite mejorar la visibilidad del equipo y sus lecturas, cuando
308 existen condiciones de sombra o baja iluminación.

309 4. Hojas de Apuntes: Para registrar otras situaciones que no estén detalladas en la ficha de
310 reconocimiento y que contribuyan al objetivo de las mediciones y evaluación que se está
311 realizando.

312 5. Lápiz: Para poder tomar apuntes y completar las fichas de reconocimiento.

313 6. Cinta de pegado (tipo huincha aisladora u otra similar que no genere ruido producto del
314 roce con la ropa): Para fijación del cable del micrófono y de la pinza de sujeción del
315 dosímetro.

316 7. Fichas de Reconocimiento: En el ítem 2.7, se presenta una propuesta de ficha validada
317 para su uso en terreno.

318 Al finalizar la medición, también es recomendable controlar el estado de todos estos accesorios,
319 para futuras mediciones.

320

321 **2.3.2 Fichas de Medición**

322 Es necesario disponer de una **Ficha de Medición** que permita precisar todas las consideraciones
323 relevantes de la actividad, como son las referidas al trabajador o grupos de trabajadores a
324 evaluar, puestos de trabajo, tareas realizadas, duración de cada una de ellas y tiempo efectivo
325 de exposición al ruido; además del registro de los valores medidos y las condiciones en que estos
326 se tomaron.

327 Para tal efecto, se presenta en el siguiente punto 2.6 del presente Manual, una ficha tipo,
328 validada en terreno, que contiene los campos antes señalados.

329

⁴ Instructivo para la Aplicación del D.S N° 594/99 del MINSAL - Título IV, Párrafo 3º, Agentes Físicos – Ruido, o el que lo reemplace.

330 2.4 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN

331 Respecto a los procesos que involucren ruido de origen ocupacional y que son los que se
332 requiere evaluar, deberá establecerse que las condiciones imperantes al iniciar las mediciones,
333 sean representativas de las situaciones reales de exposición, en función de los procesos,
334 maquinarias, equipamiento y máquinas-herramientas utilizados y aspectos relacionados con el
335 entorno mismo del lugar de trabajo; es decir, que no se altere el proceso, no se cambien
336 maquinarias o éstas sean usadas sólo por el hecho de que se realizará una medición de los
337 niveles de ruido; asimismo, tampoco se deberá agregar otras fuentes de ruido en zonas donde
338 antes no existían, generando una situación irreal, o evaluar a un trabajador si éste presenta
339 exposición a niveles de ruido inferiores a 80 dBA lento, para un Nivel Equivalente de 1 minuto
340 de duración (screening).

341 Por lo anterior, es necesario que todos los trabajadores a evaluar sean exclusivamente aquellos
342 seleccionados de acuerdo al criterio establecido en el estudio previo (ítem 2.5.1) y que estos
343 sean instruidos respecto de la medición que se realizará, enfatizando que ellos son parte
344 fundamental para una buena representación de la situación real de exposición a ruido.

345 Según lo descrito anteriormente, también es necesario verificar la existencia de grupos similares
346 de exposición a ruido, que faciliten la representación final de todos los expuestos al agente. Para
347 tal fin, es atendible conversar tanto con el supervisor correspondiente como con los
348 trabajadores expuestos a ruido, de modo de conocer en detalle las tareas asociadas a cada uno
349 de los puestos de trabajo y los tiempos efectivos durante los cuales se produce dicha exposición.
350 Esto permitirá reducir el número de mediciones, agrupando trabajadores con exposición similar
351 a ruido, pero que serán representados sólo por alguno(s) de ellos. Así, los datos que se obtengan
352 para el trabajador o trabajadores considerados serán representativos del grupo de exposición
353 similar.

354 Se deberá determinar el tiempo efectivo de exposición, para lo cual podrá consultarse
355 detalladamente a cada uno de los trabajadores que serán evaluados, así como a supervisores,
356 la hora de inicio de la jornada de trabajo, el horario específico de alimentación (hora de salida y
357 hora de regreso de la misma), así como la hora de finalización del trabajo o tarea y del retiro de
358 la empresa. De esta manera se podrá descontar el tiempo en que el trabajador en cuestión no
359 se encuentre expuesto a ruido, ya sea porque se ausenta regularmente, o por la necesidad de
360 retirar materias primas, elementos de protección personal en el pañol, o simplemente porque
361 el proceso, actividad u operación donde se produce la exposición no dura toda la jornada laboral.
362 Deberá precisarse también las horas extras promedio y las jornadas de los fines de semana, que
363 aumentan la exposición a ruido, si fuera el caso. Toda esta información deberá estar claramente
364 reflejada en la ficha de medición y ser considerada al determinar la Dosis de Ruido Diaria de cada
365 trabajador.

366 **Observación:** La metodología de medición señalada en este Manual se encuentra en sintonía con
367 lo establecido en la referencia nacional en la materia⁵, en consecuencia el usuario del Manual
368 deberá estar siempre atento a cualquier modificación que pueda producirse en la metodología
369 de medición especificada en dicho documento de referencia.

370

371 2.4.1 Estudio Previo

372 En general los trabajadores desarrollan múltiples tareas a lo largo de su jornada de trabajo. Esto
373 provoca que estén expuestos a la emisión de variadas fuentes de ruido de diferentes

⁵ Instructivo para la Aplicación del D.S N° 594/99 del MINSAL, Título IV, Párrafo 3º Agentes Físicos – Ruido, o el que lo reemplace.

374 características y que por lo tanto se torne inaplicable la determinación de la exposición diaria a
375 ruido mediante una medición puntual.

376 Con el objetivo de caracterizar de manera integral la exposición a ruido del trabajador y en
377 consecuencia planificar eficientemente la medición de los niveles de ruido, seleccionando la
378 metodología más adecuada para ello, se debe realizar un reconocimiento previo de las
379 diferentes áreas de la empresa, los procesos involucrados en cada una de las áreas, las
380 actividades (o tareas) realizadas en cada proceso y los modos de operación que contempla cada
381 actividad.

382 Debido a que un completo levantamiento de la información puede involucrar un tiempo
383 considerable, siempre que sea posible dicho reconocimiento se realizará un día previo a la
384 jornada de medición. Con esto se pretende no interferir con el tiempo que se debe destinar a la
385 medición, y de esta forma obtener niveles de ruido que sean representativos de todo el tiempo
386 de exposición y de la condición que se quiere evaluar.

387 La realización del reconocimiento previo generará la siguiente información:

388 a. Determinación de los puestos de trabajo susceptibles de ser evaluados, es decir, aquellos
389 en los que existan fuentes de ruido que impliquen exposición a este agente. Para esto se
390 deberá realizar una evaluación inicial de diagnóstico o screening, registrando el Nivel de
391 Presión Sonora Continuo Equivalente, NPSeq, en el puesto de trabajo por un período de
392 un minuto, descartándose aquellos donde no se supere los 80 dB(A). En los casos en los
393 que la condición de ruido sea variable, si el trabajador tiene autonomía sobre la ejecución
394 de la tarea, para la realización del screening se le solicitará que reproduzca la peor
395 condición de ruido representativa del quehacer habitual. Si esto no fuera posible se
396 deberá acudir en el momento de mayor emisión de ruido y en ese momento se realizará
397 el screening.

398 b. Descripción de las características de los puestos de trabajo susceptibles de ser evaluados
399 en función de los resultados del screening. En este sentido se deberá detallar:

- 400 - Actividad o tarea que se realiza en el puesto de trabajo.
- 401 - En el caso que se realice más de una actividad o tarea, se deberá establecer
402 claramente cada una de ellas.
- 403 - Número de trabajadores que realiza una tarea determinada.
- 404 - Tiempo asociado a cada tarea para cada trabajador.
- 405 - En base a lo anterior se podrá conocer la existencia de grupos de trabajadores de
406 similar exposición a ruido, obteniéndose de esta forma una información
407 representativa para todo un grupo de exposición simplificando el número de
408 mediciones y considerando los tiempos de medición adecuados para cada puesto.
- 409 - Características generales del recinto donde se realiza la tarea (cerrado, abierto,
410 semiabierto, tipo de material de las superficies, con tratamiento acústico).
- 411 - Principales fuentes generadoras de ruido que influyen en los puestos de trabajo
412 determinados de acuerdo a lo señalado en letra precedente (a)), indicando, además,
413 su ubicación y área de influencia.
- 414 - Presencia de ciclos de trabajos. En este caso se debe identificar cuáles son las tareas
415 cíclicas a lo largo de la jornada de trabajo, teniendo en cuenta que representen el
416 quehacer habitual del trabajador que ocupa el puesto de trabajo.
- 417 - Variabilidad de la condición de ruido.

418 De esta labor de reconocimiento se podrá establecer la metodología de medición que
419 corresponda en cada caso, esto es Dosimetría Personal (medición con Dosímetro) o Criterio de
420 Estabilización (medición con Sonómetro).



421

422 **2.4.2 Procedimiento de Medición**

423

424 **2.4.2.1 Verificación de las Baterías**

425 Las baterías o pilas de los instrumentos, calibradores, dosímetros y sonómetros, deberán ser
426 verificadas antes de cada calibración en terreno.

427 Idealmente se deberá contar con baterías extras por cualquier eventualidad en terreno de
428 manera que la medición no se vea interrumpida por esta causa.

429

BORRADOR

430 **2.4.2.2 Calibración en Terreno del Instrumento**

431 El instrumento de medición siempre deberá ser calibrado en terreno antes de iniciar la medición,
432 de acuerdo a las instrucciones entregadas por el fabricante.

433 Las condiciones ambientales como temperatura, presión y humedad relativa, presentes en el
434 lugar de la evaluación, pueden afectar parcialmente la respuesta del instrumento. En este
435 sentido, el micrófono se ve afectado principalmente por variaciones de presión (por ejemplo:
436 cambios de altura geográfica) que pudiesen hacer variar su respuesta y por ende los valores
437 medidos en el equipo. Por este motivo es necesario validar la medición realizada. Para esto, al
438 finalizar la jornada en terreno y antes de apagar definitivamente el instrumento, se deberá
439 realizar una verificación de la calibración, es decir una comparación entre el valor de la
440 calibración obtenido al inicio y el valor que esté midiendo el instrumento al finalizar la jornada.
441 Este proceso final es similar al de calibración inicial, pero en lugar de calibrar el instrumento, se
442 debe medir el Nivel de Presión Sonora emitido por el calibrador, verificando el valor que indica
443 la pantalla del instrumento.

444 Cuando los resultados de la calibración inicial en terreno y de la verificación final difieran entre
445 sí en más de 1 dB, se deberá descartar la medición realizada, debiéndose registrar los resultados
446 obtenidos de forma de guardar antecedentes que den cuenta de esta diferencia que descarta la
447 medición realizada. Si esta situación se observa en más de una oportunidad, se recomienda el
448 envío del instrumento al servicio técnico correspondiente.

449 **2.4.2.3 Ubicación del Instrumento.**

450

451 **a. Ubicación del Dosímetro.** En caso de efectuar la evaluación de la exposición a ruido
452 con un dosímetro personal, se deberá instalar el instrumento de medición en el
453 trabajador seleccionado, ubicando el micrófono aproximadamente a 10 cm de la
454 entrada del oído más expuesto a ruido, pero no a más de 30 cm⁶. En el caso de que
455 dicha exposición sea mayor por un oído (exposición direccional a ruido), la elección
456 de la posición del micrófono del dosímetro deberá considerar ese oído específico.

457

458 **b. Ubicación del Sonómetro.** Para aquellas evaluaciones realizadas con sonómetro, las
459 mediciones se deberán efectuar, de preferencia sin la presencia del trabajador,
460 ubicándose el micrófono del instrumento de medición en la posición que ocupa
461 usualmente la cabeza del trabajador (sentado o de pie, según corresponda),
462 manteniendo siempre el micrófono a la altura y orientación a la que se encuentra el
463 oído más expuesto del mismo. En los casos donde sea imposible efectuar la
464 medición sin la presencia del trabajador, el micrófono del instrumento se deberá
465 instalar en una esfera imaginaria de 60 cm de diámetro, la cual deberá rodear la
466 cabeza del trabajador⁷.

467

468 Se deberá tener presente que el cuerpo del instrumento de medición y el micrófono,
469 se deben orientar de acuerdo a las instrucciones del fabricante, sin que se
470 entorpezcan las tareas realizadas por el trabajador. Para el caso de los sonómetros,
471 éstos no deberán instalarse sobre mesas o superficies reflectantes, ya que la
472 vibración del medio afecta la medición. En los casos en los que se pueda medir sin
473 la presencia de trabajador, se recomienda montar el sonómetro en un trípode,
474 siempre que este accesorio tenga dimensiones tales que permita que el micrófono
del sonómetro quede a la altura a la que suele estar la cabeza del trabajador.

475

⁶ ISO 9612:2025 Acoustics — Determination of occupational noise exposure — Methodology

⁷ [OSHA Technical Manual \(OTM\) - Section III: Chapter 5 | Occupational Safety and Health Administration](#)

476 **Parámetros de Medición**

477 Para la aplicación del Procedimiento de Medición, se considerarán los siguientes
478 parámetros:

- 479 - Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPSeq), con respuesta lenta y en
480 dB(A).
- 481 - Dosis Diaria de Exposición a Ruido.
- 482 - Nivel de Presión Sonora Máximo (NPSmax), en dB(A).

483 **2.4.2.3.1 Medición del Ruido**

484 Para determinar la exposición a ruido del trabajador, se utilizará el Nivel de Presión
485 Sonora Continuo Equivalente, NPSeq en dB(A).

486 Independiente del instrumento utilizado, se deberá estar atento a la medición, de
487 forma de considerar los eventos de ruido que aportan a la exposición a ruido del
488 trabajador evaluado, según reconocimiento previo. Se deberá descartar aquellos
489 ruidos producidos intencionalmente por el trabajador o por sus compañeros de
490 trabajo.

491 **2.4.2.3.2 Tiempo de Medición**

492 **a. Medición con Dosímetro (Dosimetría Personal)**

493 Para el caso en que la evaluación de la exposición a ruido del trabajador se realice
494 mediante dosimetría personal, se deberá evaluar idealmente la jornada efectiva
495 completa.

496 Basándose en los antecedentes obtenidos durante el estudio previo (ítem 2.5.1),
497 como tareas realizadas, ciclos de trabajo definidos, participación de las fuentes de
498 ruido, estabilidad de la condición de ruido, etc.; se podrá considerar un tiempo de
499 medición inferior a dicha jornada siempre y cuando sea representativo de ésta.

500 Si se verifica la existencia de ciclos de trabajo se podrá medir un sólo ciclo,
501 proyectando posteriormente al número total de ciclos, de acuerdo a lo establecido
502 en la metodología nacional de referencia⁸.

503 Sin perjuicio de lo señalado en los párrafos anteriores, **siempre se deberá indicar**
504 **explícitamente el tiempo de medición.**

505 **b. Medición con Sonómetro (Criterio de Estabilización)**

506 Si la medición se realiza con un sonómetro promediador integrador, el tiempo de
507 medición variará dependiendo de la fluctuabilidad del ruido medido y las
508 condiciones ambientales presentes en el puesto de trabajo. La información obtenida
509 en el estudio previo con respecto al número de ciclos y/o tareas realizadas y el
510 período de tiempo utilizado en cada una de ellas es muy importante.

511 Para caracterizar adecuadamente mediante esta metodología el nivel de ruido de
512 cada puesto de trabajo, se deberá medir en cada tarea o actividad el NPSeq hasta
513 lograr su estabilización. Esto se obtendrá midiendo el NPSeq de manera continua,
514 observando y anotando cada 5 minutos el valor que aparece en la pantalla del
515 instrumento. En este proceso *no se debe detener ni resetear el instrumento*, hasta
516 que la lectura del NPSeq se establezca en torno a un valor con variaciones menores
517 a 1 dB(A).

⁸ Instructivo para la Aplicación del D.S N° 594/99 del MINSAL - Título IV, Párrafo 3º, Agentes Físicos – Ruido, o el que lo reemplace.

518 Se entenderá por estabilización de la lectura cuando la diferencia aritmética entre
519 dos valores de NPSeq, anotados consecutivamente en cada intervalo de 5 minutos,
520 sea menor a 1 dB(A), quedando como valor representativo para el tiempo y actividad
521 medida el NPSeq correspondiente al último intervalo considerado. En cualquier
522 caso, el tiempo mínimo de medición será de 15 minutos y no se deberá extender
523 por más de 30 minutos.

524 Si transcurridos 30 minutos desde iniciada la medición, el valor del NPSeq no se ha
525 estabilizado de acuerdo al criterio mencionado anteriormente, se considerará que
526 no se puede aplicar esta metodología y la evaluación de la exposición a ruido se
527 deberá realizar mediante dosimetría.

528

529 **2.5 CONSIDERACIONES DURANTE LA MEDICIÓN**

530 Durante la realización de la medición es importante tener algunas consideraciones que podrían
531 influir en el objetivo de la misma y que, por ende, son relevantes de tener en cuenta. Estas
532 consideraciones son:

533 a. Estar siempre presente en el lugar de la medición y atento a cualquier situación que
534 se produzca y que pueda afectar o influir en el resultado de la misma. De detectarse
535 alguna condición anómala o no concordante con una situación normal se debe
536 considerar la suspensión de la medición.

537 b. Observar ocasionalmente la posición correcta del micrófono del dosímetro
538 (contacto con la ropa, que esté siempre descubierto, etc.). Una posición incorrecta
539 o que esté en contacto con la ropa podría generar ruidos que se traducirían en
540 valores erróneos de exposición.

541 c. Verificar periódicamente que el equipo esté funcionando normalmente.
542 Generalmente, esto se logra con la verificación de la existencia de datos o
543 información en la pantalla del equipo.

544 d. Verificar ocasionalmente los valores que se están midiendo para verificar que
545 tengan concordancia con los niveles de ruido reales presentes durante la medición.
546 La experiencia en mediciones permitirá verificar que los niveles de ruido presentes
547 en el lugar de trabajo durante la medición asociados al nivel de presión continuo
548 equivalente, son concordantes o tiene relación con los valores que son presentados
549 en el display o pantalla en el equipo.

550 e. Observar permanentemente la ubicación de los trabajadores que están siendo
551 evaluados. Con esto se busca que éstos no se encuentren en áreas o zonas que no
552 corresponden a una situación normal o que difieran de la situación cotidiana
553 presente en su quehacer habitual. De ser así, se debería indagar el porqué de la
554 situación y evaluar la posibilidad de suspender la medición.

555 f. Al aplicar el Criterio de Estabilización se debe tener cuidado de no molestar al
556 trabajador que se está evaluando, y que la ubicación del sonómetro no constituya
557 una condición de riesgo para él mismo ni para el evaluador. En todo momento se
558 debe tener presente que una medición no debe interferir en el quehacer habitual,
559 de manera que su realización no influya en los valores de exposición que se están
560 midiendo.

561 g. En el caso de la medición con dosímetro, el cable del instrumento se debe ubicar
562 por debajo de la ropa del trabajador de manera de evitar que se enganche en alguna

563 parte. Con esto se evitará generar una condición de riesgo, tanto para el trabajador
564 como para el equipo.

565 h. Preocuparse de contar con todos los elementos de protección personal (EPP) contra
566 los riesgos presentes en el lugar donde se va a realizar la medición. La realización de
567 una medición de agentes de cualquier tipo debe considerar que la persona que la
568 realiza estará expuesta a condiciones inseguras, tanto en el ámbito de la higiene
569 como la seguridad ocupacional y, por ende, éste debe contar con todos aquellos
570 elementos de protección personal que aseguren su seguridad producto de dichas
571 exposiciones. Esto quiere decir, por tanto, que dicha persona conozca y use
572 adecuadamente cada uno de los elementos de protección personal.

573 i. Es posible que en algunos casos los valores registrados en el equipo, producto de
574 algún mal funcionamiento, puedan perderse o borrarse, lo que implicaría tener que
575 volver a realizar las mediciones. Considerando esto, independientemente de que el
576 instrumento de medición registre en memoria los valores medidos, se recomienda
577 anotar en la ficha de medición los resultados que se vayan obteniendo (NPSeq,
578 tiempo de medición, Dosis de Ruido medida) en cada puesto de trabajo evaluado.
579 Se recomienda, además, registrar los valores de otros parámetros importantes que
580 apunten a una mejor caracterización del puesto de trabajo evaluado.

581 j. La medición de ruido no debe considerar el período que el trabajador destina a su
582 alimentación o descanso, siempre que se realice en un área, zona o recinto, donde
583 los niveles de ruido sean inferiores a 80 dB(A) (casinos, comedores, al aire libre,
584 etc.), en cuyo caso se debe detener la medición y retomarla cuando el trabajador
585 reinicie sus tareas habituales. En este sentido, si es que durante la jornada laboral
586 se efectuarán otras actividades no directamente relacionadas con la actividad
587 laboral, tales como charlas, descansos de media jornada, etc., tampoco deberán ser
588 consideradas para la medición. No obstante, se recomienda que en las áreas de
589 descanso el nivel de ruido sea inferior a 70 dB(A).

590 k. Configurar bien el instrumento de medición. Para una correcta evaluación, de
591 acuerdo a la normativa nacional de referencia, se debe configurar específicamente
592 el dosímetro de ruido de la siguiente forma:

- 593 - Nivel Criterio: 85 dB(A)
- 594 - Tiempo Criterio: 8 horas
- 595 - Razón de Cambio: $q=3$
- 596 - Nivel Umbral: en el mínimo que permita el instrumento.

597 Se debe tener presente que muchos equipos pueden venir con una configuración
598 de sus parámetros diferentes a los que son necesarios para efectuar una medición
599 de acuerdo a lo estipulado en la normativa legal vigente⁹ y por ende, con esto
600 generar un valor de exposición diferente a la que daría si se configurara de una
601 forma adecuada. Por esto, es recomendable verificar en el manual de usuario de los
602 sonómetros y dosímetros la forma de configurar el equipamiento, en función de los
603 requerimientos establecidos en la normativa nacional mencionada.

604 l. Es muy aconsejable que previo al inicio de la medición, se converse con el trabajador
605 para explicarle todos los aspectos relacionados con la misma. En este sentido, junto

⁹ Decreto Supremo 594/99 del MINSAL que Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, o el que lo reemplace.

606 con tratar de establecer una relación empática con el trabajador de forma de que
607 participe y contribuya con la medición, se recomienda indicarle lo siguiente:

608 i. Finalidad y trascendencia de la actividad: es importante recalcarle en un
609 lenguaje sencillo a cada uno de los trabajadores que colaborarán en la
610 medición, que lo que se busca con ésta es establecer los niveles de exposición
611 sonora y la Dosis de Ruido para establecer si superan lo permitido en la
612 normativa legal vigente con respecto a la exposición a ruido. Se le debe
613 indicar, además, que dicha actividad es de suma importancia para él, puesto
614 que los resultados que se obtengan podrían generar una serie de acciones
615 preventivas enmarcadas en un programa de vigilancia de su salud.

616 ii. Breve descripción de las características más relevantes del equipo usado: más
617 allá de los aspectos técnicos del equipo, debe aclarársele a los trabajadores:

618 ➤ Qué hace el instrumento de medición: Señalarle que éste transforma la
619 energía producida por el ruido en variaciones de voltaje y las convierte en
620 niveles de ruido equivalentes de éste.

621 ➤ Precauciones para una buena toma de muestra de los niveles de ruido:
622 Que el trabajador y sus compañeros no le hablen al micrófono, ni lo
623 golpeen con la mano o algún objeto.

624 ➤ Que el instrumento no funciona como un grabador de audio, por lo tanto,
625 sus conversaciones no serán registradas.

626 iii. Respecto a lo que se espera del trabajador: para un mejor resultado de la
627 actividad, explicar al trabajador:

628 ➤ Que debe desarrollar todas sus actividades en forma normal.

629 ➤ Que, si por algún motivo va a efectuar una actividad que no forma parte
630 de sus quehaceres habituales, le informe previamente al evaluador. Si
631 esta es la situación, el equipo debe ser retirado momentáneamente, en el
632 caso de que sea necesario, o en su defecto apagado o pausado, mientras
633 efectúa esa actividad extraordinaria; y que cuando reinicie las funciones
634 normales, se le debe reinstalar dicho equipo y/o retomar la medición.

635 m. Cuando sea posible, se recomienda acompañar las mediciones con registros
636 fotográficos o de video, para correlacionar los eventos de ruido con las operaciones
637 efectuadas por el trabajador. Si lo anterior no es factible se debe agregar un croquis
638 indicando la posición del sonómetro.

639 En ocasiones, el instrumento puede presentar fallas durante la medición no atribuibles a su
640 manipulación, sino que al equipo mismo. En estos casos, la medición debe ser descartada y sus
641 resultados no deben ser considerados, debiendo repetirse el proceso en otra oportunidad si
642 fuera necesario, realizando previamente los chequeos correspondientes al instrumento para
643 verificar un correcto estado de funcionamiento.

644 Se adjunta en el punto 2.6 una Ficha tipo para el registro de los datos recogidos en terreno.

645



646 **2.6 FICHA PARA LA EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A RUIDO OCUPACIONAL Y DE**
647 **RECONOCIMIENTO Y MEDICIONES**

648
649 1. ESTUDIO PREVIO

650
651 1.1 Antecedentes de la Empresa

Fecha de visita:		
Nombre:		
Dirección Empresa:		
Nº de Trabajadores:	Fono:	Organismo Administrador Ley 16.744:

652
653 1.2 Descripción de las Actividades de la Empresa:

654 1.2.1 Características Generales

Actividad productiva (Ej. Metalúrgica, Agricultura, etc):
Rubro(s) específico(s) de la empresa:
Descripción de las instalaciones <i>(Debe estar en concordancia con el croquis de la planta de la empresa del Anexo)</i>
¿Existen evaluaciones de riesgo de exposición a ruido?:

655
656 1.2.2 Áreas, Puestos y Jornadas de Trabajo

Área de trabajo	Puesto de trabajo por área*	Protección auditiva**	Jornada de trabajo diaria	Tiempo diario de exposición***	Nº de trabajadores

Observaciones:

(*) Si se estima pertinente, se podrá incluir una breve descripción de un puesto de trabajo específico en la fila "observaciones" de la presente tabla.
(**) En caso de uso de protección auditiva, se deberá indicar la marca y el modelo respectivo.
(***) El tiempo de exposición corresponderá a las horas efectivamente trabajadas en un día por parte de un trabajador, lo que incluye las horas extras en algunos casos. No obstante lo anterior, no se deben incluir aquellos períodos de descanso de parte del trabajador.

657 **1.3.**
658

659
660

1.4. Características de la Exposición a Ruido

Fuente de ruido*	Ubicación	Puestos de trabajo expuestos	Tipo de ruido**	Ciclos de trabajo	Repeticiones en la jornada***
Observaciones:					
(*) Se designa como fuente de ruido crítica a aquellas maquinarias que generan, en funcionamiento, Niveles de Presión Sonora superiores a 80 dB(A) según técnica de diagnóstico descrita en Instructivo. (**) Obtenida según definiciones señaladas en el Instructivo, a nivel del trabajador. (***) Sólo para el caso de trabajos cíclicos.					

661
662
663

1.5. Identificación del profesional o profesionales que efectúan el reconocimiento

--

664
665
666
667
668

2. MEDICIONES

2.1. Instrumentación utilizada

Instrumento	Marca	Modelo	Nº de Serie	Valor de calibración	Valor de Verificación
Calibrador Acústico				No corresponde	

669
670
671

2.2. Plan de Mediciones

<p>Puestos de trabajo y/o puntos de medición seleccionados. <i>En caso de contar con puntos de medición fijos, éstos necesariamente deben ser señalados en el croquis de la planta de la empresa del Anexo.</i></p>
<p>Condiciones de Medición. <i>Se deben tener en cuenta las fuentes de ruido críticas que funcionaron durante las mediciones y bajo qué condiciones lo hicieron, además de cualquier antecedente de importancia generado, considerándose la información obtenida en el punto 1.3</i></p>

672



681 **2.5. Identificación Profesional(les) que Efectúa(n) las Mediciones**
682

683
684
685

ANEXO: Croquis de Planta

686

687 **CAPÍTULO III**

688 **VIBRACIONES**

689

690

691 **3.1 INTRODUCCIÓN.**

692 Se entiende por vibración ocupacional a cualquier movimiento o fuerza mecánica oscilante,
693 continua o intermitente, que afecte al ser humano en el trabajo, y que se transmita al organismo
694 a través de estructuras sólidas y receptores distintos al oído.

695 En este contexto en la exposición diaria a vibraciones se distinguirá la exposición de cuerpo
696 entero y exposición del sistema mano-brazo. Las vibraciones de cuerpo completo y del segmento
697 mano – brazo son vibraciones mecánicas que, cuando se transmiten a todo el cuerpo o al sistema
698 humano de mano y brazo, conllevan riesgos para la salud y la seguridad de las personas
699 trabajadoras.

700 En particular, las vibraciones de cuerpo completo implican, entre otras, lumbalgias y lesiones de
701 la columna vertebral. Estas ocurren cuando el cuerpo está apoyado en una superficie vibrante
702 (por ejemplo, cuando se está sentado en un asiento que vibra, de pie sobre un suelo vibrante o
703 recostado sobre una superficie vibrante). Las vibraciones de cuerpo completo se presentan en
704 todas las formas de transporte y cuando se trabaja cerca de maquinaria industrial.

705 Por otro lado, las vibraciones del segmento mano – brazo, que ingresan al cuerpo a través de los
706 dedos o palmas de las manos, pueden provocar principalmente alteraciones vasculares, óseas,
707 articulares, nerviosas o musculares¹⁰ en las extremidades superiores, aunque también pueden
708 ser transmitidas al resto del cuerpo.

709 Para la evaluación cuantitativa de la vibración, es necesario contar con equipamiento ad hoc,
710 que permita determinar de la manera más precisa posible los valores de aceleración equivalente
711 ponderada a los cuales se exponen las personas trabajadoras en sus lugares de trabajo.

712 Con todo, para la medición de este agente es necesario atender tanto a las consideraciones
713 previas como aquellas que se presentan durante la medición en terreno, para la debida
714 aplicación de la metodología aquí descrita. Ambas se detallan en el presente manual, de modo
715 que las conclusiones a las que se llegue, y que involucren personas trabajadoras expuestas a
716 vibración de origen ocupacional, sean representativas de las situaciones reales presentes al
717 momento de la medición, en función de los procesos, maquinarias, equipamiento y máquinas-
718 herramientas utilizadas, precisando finalmente el valor de aceleración equivalente ponderada
719 en frecuencia a la que dichas personas trabajadoras están sometidas durante el tiempo de
720 exposición.

721 Así, el presente documento permite la aplicación de los estándares legales establecidos en la
722 normativa vigente¹¹, dando respuesta a las interrogantes más frecuentes en su empleo en
723 terreno. Se incluye, por tanto, un análisis en detalle del procedimiento de medición y algunos
724 aspectos concernientes a consideraciones y recomendaciones técnicas y administrativas, que
725 servirán de apoyo al usuario al momento de aplicar dicha normativa. En este sentido, el manual
726 se encuentra dirigido principalmente a aquellos profesionales que realizan labores de

¹⁰ Directiva 2002/44/CE, o la que la reemplace.

¹¹ D.S. N°594 de 1999 del MINSAL que Aprueba Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, o el que lo reemplace.

727 inspección, evaluación y fiscalización en el ámbito de la higiene ocupacional, enfocada en el
728 riesgo físico vibración y a todos aquellos que trabajan de una u otra manera vinculados al control
729 de las vibraciones ocupacionales.

730 **3.2 EQUIPAMIENTO.**

731

732 **3.2.1 Generalidades.**

733 Las mediciones de vibraciones de cuerpo completo y/o mano – brazo, se deben efectuar con un
734 Analizador de vibración humana. Para el caso de la medición de vibraciones de cuerpo completo
735 se deberá contar con un acelerómetro (transductor) triaxial montado en disco y, para la
736 evaluación de vibraciones de mano – brazo, se requiere disponer de un acelerómetro por cada
737 eje de vibración (X, Y y Z) o bien, un acelerómetro triaxial para mano – brazo, además de sus
738 respectivos adaptadores. Adicionalmente, se deberá contar con un calibrador de vibración o
739 fuente de vibración calibrada. Con este equipamiento es posible determinar finalmente, con
740 precisión, los valores de aceleración equivalente ponderada en frecuencia a la que está(n)
741 expuesta(s) la(s) persona(s) trabajadora(s) en su puesto de trabajo. Dicho equipamiento debe
742 contar con su certificado de calibración periódica vigente.

743 Para tener certeza de que el equipamiento es apto para medir vibraciones ocupacionales es
744 pertinente y atinente referirse al documento **Requerimientos para la mantención y calibración de**
745 **la instrumentación utilizada en la evaluación de la exposición a vibración de los trabajadores en sus**
746 **lugares de trabajo. V2, 2014**¹², o el que lo reemplace, del Instituto de Salud Pública de Chile.

747

748 **3.2.1.1 Analizador de Vibración Humana.**

Analizador de Vibración humana: Instrumento que consta de un amplificador, una red de ponderación, y un detector-indicador para mediciones de vibraciones de cuerpo completo y mano-brazo



Figura 3.1 Analizador de vibración humana.

Acelerómetro triaxial para vibración de cuerpo completo montado en adaptador: Transductor que mide simultáneamente en los tres ejes de vibración montado en el interior de un disco de goma lo suficientemente plano como para interponerlo entre la superficie que vibra y la zona del cuerpo más próxima a dicha superficie, por donde ingresa las vibraciones al cuerpo.



Figura 3.2 Acelerómetro triaxial para vibración de cuerpo completo montado en pad.

¹²[Requerimientos para la mantención y calibración de la instrumentación utilizada en la evaluación de la exposición a vibración de los trabajadores en sus lugares de trabajo. V2, 2014](#)

Acelerómetro triaxial para vibraciones mano-brazo con su adaptador: Transductor que mide simultáneamente en los tres ejes de vibración montado en un adaptador que permite interponerlo entre la herramienta y la zona de la mano por donde ingresan las vibraciones al cuerpo



Figura 3.3 Acelerómetro triaxial para vibraciones mano-brazo con su respectivo adaptador

749
750
751
752



Figuras 3.4: calibradores de vibración, (shaker).



Figura 3.5 Adaptador abrazadera para empuñadura, para medición mano-brazo

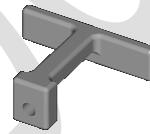


Figura 3.6 Adaptador "T", para medición mano-brazo

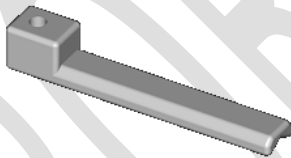


Figura 3.7 Adaptador asa para medición mano-brazo

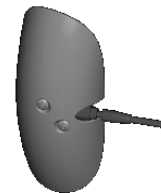


Figura 3.8. Adaptador Palma para medición mano-brazo

753

754 Las direcciones de medición corresponden al sistema de coordenadas que se origina en el punto
755 desde el cual se considera que ingresa la vibración al cuerpo humano y determinan los ejes de
756 vibración X, Y y Z anteriores. Los sistemas de coordenadas basicéntricas se presentan en las
757 Figuras 3.9 y 3.10 para la exposición de cuerpo entero y de mano – brazo, respectivamente.
758

759

760

761

762

763

764

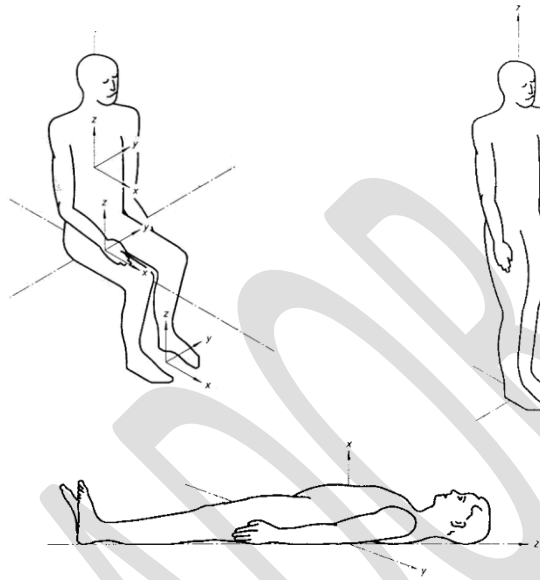
765

766

767

768

769



770 Figura 3.9: Ejes basicéntricos del cuerpo humano. Vibraciones de cuerpo completo:

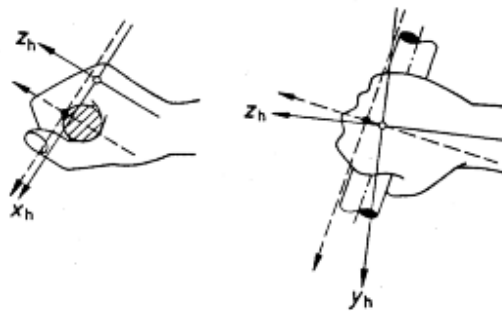
771 Eje X: es la dirección de espalda a pecho.

772 Eje Y: es la dirección de lado derecho a izquierdo.

773 Eje Z: es la dirección de los pies o parte inferior, a la cabeza.

774

775



776

777 Figura 3.10: Ejes basicéntricos vibraciones del componente mano-brazo:

778 Eje Z: Corresponde a la línea longitudinal ósea.

779 Eje X: Corresponde a la línea perpendicular a la palma de la mano.

780 Eje Y: Corresponde a la línea en la dirección de los nudillos de la mano.

781

782 **3.2.2 ESPECIFICACIONES**

783 **3.2.2.1 Analizador de Vibración Humana.**

784 Las mediciones de aceleración equivalente ponderada deben efectuarse con un Analizador de
785 vibración humana que cumpla, como mínimo, con las exigencias señaladas en la norma ISO
786 8041-1:2017 Human response to vibration — Measuring instrumentation. Part 1: General
787 purpose vibration meters.

788 **3.2.2.2 Calibradores de Terreno.**

789 El instrumento de medición utilizado deberá contar con un calibrador de vibración, que a lo
790 menos permita el chequeo del sistema de medición en un valor de aceleración y frecuencia. Los
791 valores usuales son: 10 m/s^2 y $159,8^{13}$ Hz. Este calibrador deberá poseer trazabilidad metrológica
792 comprobable.

793

794 **3.2.3 CERTIFICACIÓN Y FRECUENCIA DE LA CALIBRACIÓN DEL EQUIPAMIENTO.**

795 **3.2.3.1 De La Calibración Periódica.**

796 Tanto el instrumento de medición como su respectivo calibrador de vibración deberán contar
797 con su certificado de calibración, cuyos resultados sean conformes a lo indicado en la ISO 8041-
798 1:2017¹⁴.

799 Los instrumentos deberán calibrarse periódicamente, de acuerdo a las normas de fabricación
800 especificadas para cada caso y en cumplimiento con lo señalado en las normativas especificadas
801 en los párrafos anteriores.

802 La periodicidad de las calibraciones será determinada por el usuario dentro de los márgenes
803 establecidos por el organismo de referencia en la materia¹⁵. Para tal fin, el usuario puede tomar
804 en consideración, al menos, los antecedentes obtenidos de los chequeos previos y posteriores
805 a las mediciones y las condiciones de almacenamiento y mantenimiento del equipamiento.

806 **3.2.3.2 Calibración en Laboratorio – Instrumentos Nuevos.**

807 Los instrumentos nuevos deberán contar con un certificado de calibración de fábrica. Se
808 entiende por instrumento nuevo, aquel cuyo certificado de calibración de fábrica tiene fecha de
809 emisión inferior a 2 años al momento de verificarse éste por cualquier parte interesada.

810 **3.2.3.3 Calibración en Laboratorio – Instrumentos Antiguos.**

811 Consecuentemente, los instrumentos antiguos, es decir, aquellos con un certificado de
812 calibración emitido en fecha superior a 2 años al momento de verificarse éste por cualquier
813 parte interesada, deberán calibrarse en un laboratorio competente y acreditado de acuerdo a
814 los criterios de la norma internacional ISO/IEC 17025 vigente¹⁶. En tanto, los alcances de
815 acreditación para estos laboratorios de calibración deberán estar conforme a los requerimientos
816 técnicos estandarizados, según el tipo de instrumentación de que se trate:

¹³ Este valor de frecuencia equivale exactamente a 1000 rad/s , que es una velocidad angular muy utilizada en trazabilidad metrológica

¹⁴ ISO 8041-1:2017 Human response to vibration — Measuring instrumentation. Part 1: General purpose vibration meters

¹⁵ [Requerimientos para la mantención y calibración de la instrumentación utilizada en la evaluación de la exposición a vibración de los trabajadores en sus lugares de trabajo. V2, 2014](#)

¹⁶ ISO/IEC 17025:2017. “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración”.

- 817 a. Analizadores de vibración: requisitos señalados en la norma ISO 8041:2017¹⁷.
- 818 b. Acelerómetros: se recomienda obtener la sensibilidad del acelerómetro del Analizador
819 de vibraciones mediante la aplicación de la norma ISO 16063 – 21: 2003¹⁸.
- 820 c. Calibrador y patrón de referencia: ambos deberán cumplir con las exigencias señaladas
821 por el fabricante para estos equipamientos, las que deben estar en concordancia con lo
822 descrito en el Anexo A de la ISO 8041: 2017.

823

824 **3.2.4 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO Y CONTROL DEL EQUIPAMIENTO.**

825 Para un detallado control del mantenimiento del equipamiento dispuesto para este tipo de
826 mediciones puede considerar:

- 827 a. Calendario de mantenimiento y calibraciones, que dé cumplimiento a lo dispuesto en la
828 *“Guía Para La Mantención Y Calibración De La Instrumentación Utilizada En La*
829 *Evaluación De La Exposición A Vibraciones”*¹⁹.
- 830 b. Codificación del equipamiento, que permita claramente conocer aspectos relacionados
831 con la data del mismo, correlativo, si existen más unidades semejantes y cualquier otro
832 aspecto que facilite su identificación
- 833 c. Fichas técnicas específica para cada equipo, que contenga información del tipo de
834 equipo (Analizador de vibración, acelerómetro, calibrador de terreno y patrón de
835 referencia), marca, modelo, número de serie y accesorios, así como el historial de
836 calibraciones y mantenimiento.
- 837 d. Almacenamiento adecuado para todos los equipos, de modo de prolongar la vida útil de
838 los mismos evitando condiciones que los pongan en riesgos.
- 839 e. Precisar cuál es la limpieza requerida para tales, considerando todos los componentes
840 de la cadena de medición.
- 841 f. Medidas correctivas para el caso en que se detecten fallas.

842

843 **3.3 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA MEDICIÓN.**

844 Con la finalidad de evitar errores en la determinación de la exposición a vibraciones de las
845 personas trabajadoras a evaluar, es necesario chequear que el instrumento de medición a
846 utilizar, así como sus respectivos acelerómetros, estén en buenas condiciones. Esto quiere decir,
847 que no presente abolladuras atribuibles a golpes por caídas u otras causas, que no existan piezas
848 sueltas, trizaduras en la pantalla, falta o rotura de teclas y cables defectuosos, que los elementos
849 dispuestos para fijar en la mano realmente ajusten de la mejor forma, etc.

850 Asimismo, es importante verificar, el día anterior la medición, que las baterías o pilas a usar en
851 el equipamiento estén en buenas condiciones y, además, concurrir dotado de recambios
852 adecuados de éstas, para en el caso de que fuese necesario reemplazar las dispuestas
853 inicialmente en el equipo, permitiendo una continuidad en la medición.

¹⁷ ISO 8041-1:2017 Human response to vibration — Measuring instrumentation. Part 1: General purpose vibration meters.

¹⁸ ISO 16063-21:2003 Methods for the calibration of vibration and shock transducers. Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer

¹⁹ <https://www.ispch.cl/salud-de-los-trabajadores/publicaciones-de-referencia/vibraciones/>

854 Igualmente, se debe verificar que los acelerómetros se encuentren adecuadamente atornillados
855 o sujetos a los acopladores de mano-brazo o cuerpo completo, según corresponda, siguiendo
856 las recomendaciones de montaje señaladas por el fabricante.

857 Configurar el instrumento con los filtros de ponderación de frecuencia adecuados, según el tipo
858 de exposición y dirección de ésta.

859 En el ámbito de la medición de la exposición ocupacional se consideran las ponderaciones que
860 se indican en la Tabla N° 3.1 Ponderaciones de frecuencia, y que se detalla en el “*Protocolo para*
861 *la aplicación del D.S. N° 594/99 del MINSAL, Título IV, Párrafo 3º Agentes físicos – vibraciones²⁰*”.

862

863 **3.3.1 ACCESORIOS.**

864 Adicionalmente, de forma previa a la medición, es necesario verificar el estado de una serie de
865 accesorios tales como:

- 866 a. Adhesivo de acelerómetros o base magnética, por si fuese necesario adherir el sensor a
867 la superficie del piso u otra relacionada con la medición de la exposición.
- 868 b. Linterna: para mejorar la visibilidad del equipo y sus lecturas, cuando existan
869 condiciones de sombra o baja iluminación.
- 870 c. Hojas de apuntes: para detallar otras situaciones que no estén en la ficha de medición y
871 que contribuyan al objetivo de las mediciones y evaluación que se está realizando.
- 872 d. Lápiz: para tomar apuntes y completar las fichas de medición.
- 873 e. Cintas de fijación plásticas o atrapa cables, abrazadera o similar para fijar un
874 acelerómetro con acoplador para empuñadura de herramientas.
- 875 f. Alicata cortante para cortar cintas de fijación plásticas o atrapa cables.
- 876 g. Atornillador.
- 877 h. Funda de protección para el Analizador o registrador de vibración, la que servirá para la
878 portabilidad del instrumento en el mismo trabajador o en algún lugar cercano al punto
879 de medición, por ejemplo: el asiento.
- 880 i. Fichas de medición.
- 881 j. Mochila o chaleco tipo geólogo con bolsillos amplios: Es recomendable para el evaluador
882 y su seguridad, que porte el o los instrumentos de medición en un dispositivo de esta
883 índole, debido a la necesidad de la sujeción con las dos manos para el acceso a vehículos
884 o maquinaria de gran envergadura como, por ejemplo, máquinas excavadoras,
885 motoniveladoras, buldócer, etc.
- 886 k. Tabla para el apoyo de las hojas y/o ficha cuando no se dispone de una superficie de
887 trabajo adecuada.

888

889 Al finalizar la medición, también es recomendable, controlar el estado de todos estos
890 accesorios, para contar con ellas en futuras mediciones.

891

²⁰ [Instituto de Salud Pública de Chile. Versión 2.0. Noviembre, 2012 Protocolo para la aplicación del D.S. N° 594/99 del MINSAL, Título IV, Párrafo 3º Agentes físicos – vibraciones.](#)

892 **3.3.2 FICHAS DE MEDICIÓN.**

893 Es necesario disponer de una Ficha de Medición que permita precisar todas las consideraciones
894 relevantes de la actividad, como son las referidas a las personas trabajadoras, puestos de
895 trabajo, actividades o tareas realizadas, duración de cada una de ellas y tiempo de exposición a
896 las vibraciones; además, del registro de los valores medidos y las condiciones en que éstos se
897 obtuvieron. Para tal efecto, en el punto 3.6 de este capítulo, se presenta una ficha de medición
898 tipo.

899

900 **3.4 METODOLOGÍA DE MEDICIÓN.**

901 Respecto a los procesos que involucren vibración de origen ocupacional, que afecte a personas
902 trabajadoras dentro de su jornada de trabajo diaria, debe establecerse que las condiciones de
903 exposición imperantes al iniciar las mediciones, sean representativas de las situaciones reales
904 en que se manifiesta la vibración ocupacional en función de los procesos, maquinarias,
905 equipamiento, máquinas-herramientas utilizados y eventualmente, aspectos relacionados con
906 la operación; es decir, que no se altere el proceso, no se cambien maquinarias o éstas sean
907 usadas solo por el hecho de que se realizará una medición de vibración.

908 Por lo anterior, es necesario que todas las personas trabajadoras a evaluar sean exclusivamente
909 aquellas seleccionadas de acuerdo al criterio establecido en el estudio previo o levantamiento
910 de procesos (ítem 4.1) y que éstas sean instruidas respecto de la medición que se realizará,
911 enfatizando que ellos son parte fundamental para una buena representación de la situación real
912 de exposición a vibración.

913 Según lo descrito anteriormente, también es necesario verificar la existencia de grupos similares
914 de exposición a vibración, de modo que se facilite la representación final de todos los expuestos.
915 Para tal fin, es atendible conversar tanto con el supervisor correspondiente como con las
916 personas trabajadoras afectadas, de modo de conocer en detalle las actividades o tareas
917 asociadas a cada uno de los puestos de trabajo y los tiempos asociados que involucran
918 exposición a vibración. Esto permitirá, en el caso de que existan tales grupos, reducir el número
919 de mediciones, agrupando personas trabajadoras con exposición similar a vibraciones, pero que
920 serán representados solo por alguno(s) de ellos. Así, los datos que se obtengan para las personas
921 trabajadoras consideradas serán extrapolables a todo el resto del grupo de exposición similar.

922 Respecto a la determinación del tiempo de exposición a vibración, debe consultarse
923 detalladamente a cada una de las personas trabajadoras que serán evaluadas, así como a
924 supervisores, la hora de inicio de la jornada de trabajo, el horario específico de almuerzo o
925 colación (hora de salida y hora de regreso), así como la hora de finalización del trabajo y del
926 retiro de la empresa. De esta manera, se podrá descontar el tiempo en que la persona
927 trabajadora en cuestión no se encuentre expuesta a vibración, ya sea porque se ausenta
928 regularmente o por la necesidad de retirar materias primas, elementos de protección personal
929 en el pañol, o simplemente porque el proceso, actividad u operación donde se produce la
930 exposición no dura toda la jornada laboral. Deben precisarse, también las horas extras promedio
931 y las jornadas de los fines de semana, que aumentan el tiempo de exposición a vibración, si fuera
932 el caso. Toda esta información debe estar claramente reflejada en la ficha de medición y ser
933 considerada al determinar el valor de exposición a vibración de cada persona trabajadora. En
934 este sentido y para efectos de una adecuada evaluación de la exposición, se debe considerar el
935 tiempo de exposición efectivo dentro de la jornada laboral para la condición de trabajo y
936 actividad más desfavorable, como, por ejemplo, la que ocurre en “temporada alta” o en
937 “situación de sobredemanda”, estableciendo la frecuencia con que se producen estas
938 condiciones.

939 **3.4.1 ESTUDIO PREVIO (LEVANTAMIENTO DE PROCESOS).**

940 En general las personas trabajadoras desarrollan múltiples tareas a lo largo de su jornada de
941 trabajo. Esto puede provocar que estén expuestos a la emisión de variadas fuentes de vibración
942 de diferentes características y, teniendo en consideración que los puntos de contacto con
943 superficies vibrantes se pueden producir en diferentes partes del cuerpo, la determinación de
944 la exposición diaria mediante una medición de vibración que considere un tiempo determinado
945 dentro de una jornada de trabajo, en la mayoría de los casos se torna una tarea compleja.

946 Con el objetivo de caracterizar de manera integral la exposición a vibraciones de la persona
947 trabajadora y, en consecuencia, planificar eficientemente la medición de valores de aceleración
948 equivalente ponderada en frecuencia, seleccionando el método más adecuado para ello, se
949 debe realizar un reconocimiento o estudio previo de las diferentes áreas de la empresa, los
950 procesos involucrados en cada una de las áreas, las actividades (o tareas) realizadas en cada
951 proceso y los modos de operación que contempla cada actividad.

952 Debido a que un completo levantamiento de la información puede involucrar un tiempo
953 considerable, siempre que sea posible, dicho estudio previo se realizará un día previo a la
954 jornada de medición. Con esto se pretende no interferir con el tiempo que se debe destinar a la
955 medición y, de esta forma, obtener valores de aceleración equivalente ponderada en frecuencia
956 que sean representativos de la condición que se quiere evaluar.

957 Durante la exposición ocupacional a vibración se pueden presentar, simultáneamente, otros
958 factores de riesgo, relacionados con los trastornos músculo esqueléticos, como fuerzas, posturas
959 estáticas, movimientos repetitivos, aspectos de susceptibilidad personal, etc., produciéndose un
960 efecto sinérgico que aumenta el posible efecto individual. Considerando esto, la evaluación del
961 riesgo, y la posterior predicción de una enfermedad o lesión por exposición a vibración, no
962 siempre debería sustentarse exclusivamente en la medición de la aceleración equivalente
963 ponderada de manera aislada, sino que es recomendable realizar la evaluación individual de
964 estos factores distintos a la vibración.

965 En el estudio previo, por lo tanto, se debe considerar la posibilidad de la presencia de estos
966 elementos y otros similares, para los cuales se debería tener en cuenta que el profesional que
967 efectúa el reconocimiento cuente con las competencias mínimas para su identificación.

968 La realización del estudio previo generará la siguiente información:

969 a. **Determinación de los puestos de trabajo susceptibles de ser evaluados**, es decir, aquellos
970 en los que existan fuentes de vibración que impliquen exposición a este agente. En tales,
971 donde se determinen puestos de trabajo con presencia de exposición a vibraciones de
972 cuerpo entero, se deberá efectuar una medición para la determinación de a_{eq} por cada eje
973 de exposición.

974 b. **Descripción de las características de los puestos de trabajo donde exista exposición a**
975 **vibraciones**. En este sentido se deberá detallar:

- 976 - Área de trabajo involucrada.
- 977 - Proceso involucrado.
- 978 - Descripción de la actividad o tarea que se realiza en el puesto de trabajo donde se
979 produce la exposición.
- 980 - En el caso que se realice más de una actividad o tarea donde exista exposición a
981 vibraciones, se deberá establecer claramente cada una de ellas.
- 982 - Se debe identificar claramente la(s) fuente(s) generadora(s) de vibración que
983 influye(n) en los puestos de trabajo descritos en a), indicando, además, su ubicación
984 y área de influencia. En este sentido, para efectos de seguimiento en el tiempo y,

- 985 sobre todo, para efectuar controles de cumplimiento de implementación de medidas
986 de control (como mantenimiento, recambio, etc.), se requiere identificar
987 claramente dicha(s) fuente(s), señalando a lo menos: si corresponde a vehículo,
988 maquinaria, herramienta, etc. Asimismo, se debe señalar la marca, el modelo, el
989 número de serie, accesorio utilizado si corresponde, modo de operación y, en
990 general, cualquier aspecto que pueda ayudar a su identificación.
- 991 - Modo de operación o condición bajo la cual se realiza la actividad que involucra
992 exposición a vibraciones (ejemplo: en el caso de un esmeril angular: el tipo de disco
993 utilizado, el elemento sobre el cual se va a utilizar, metal, madera, etc.).
 - 994 - Número de personas trabajadoras que realiza la actividad o tarea considerada.
 - 995 - Tiempo asociado a cada tarea para cada persona trabajadora expuesto a
996 vibraciones.
 - 997 - En base a lo anterior, se podrá conocer la existencia de grupos similares de personas
998 trabajadoras cuya exposición a vibraciones sea equivalente, obteniéndose de esta
999 forma una información representativa para todo un grupo de exposición; lo que
1000 puede simplificar el número de mediciones, considerando los tiempos adecuados
1001 para cada puesto (punto Tiempo de Medición).
 - 1002 - Para cada caso o grupo de exposición similar, se debe especificar si la exposición es
1003 de cuerpo completo o de mano – brazo.
 - 1004 - Variabilidad de la condición de exposición a vibraciones, es decir, si dicha exposición
1005 está bien definida o, por el contrario, corresponde a una condición de exposición
1006 variable o no definida que involucre, por ejemplo: diversas fuentes generadoras de
1007 vibraciones o variadas formas de operación, etc.
- 1008
- 1009 c. **Tipo de exposición, tipo de vibración y tiempo de exposición:** para cada puesto de trabajo
1010 o grupo de exposición similar, se debe especificar si la exposición es de cuerpo completo o
1011 de mano–brazo. También en las actividades y operaciones, donde se produce la exposición,
1012 se debe indicar el tipo de vibración y el tiempo de exposición a ésta durante la jornada
1013 laboral. Una herramienta o vehículo que cause exposición a vibraciones, por lo general, se
1014 utiliza de manera intermitente y con intervalos de tiempo determinados según las
1015 necesidades del trabajo, situación que obliga al evaluador a observar detalladamente las
1016 actividades, entrevistar las personas trabajadoras, supervisor, etc., para establecer de
1017 manera precisa el tiempo durante el cual la persona trabajadora se encuentra expuesto a
1018 vibraciones, dado que este tiempo determinará el *Límite Máximo Permisible* que se deberá
1019 cumplir. De esta labor de reconocimiento o estudio previo, es decir, de la identificación de
1020 las fuentes generadoras de vibraciones, del número de personas trabajadoras expuestas, de
1021 los ciclos de trabajo, del tipo de exposición, del tipo de vibración generado, y del tiempo de
1022 exposición se podrá establecer la metodología de medición adecuada que considere,
1023 cuando corresponda, grupos similares de personas trabajadoras cuya exposición a vibración
1024 sea equivalente. Con esto se obtendrá información representativa para todo un grupo de
1025 exposición, simplificando el número de mediciones y considerando los tiempos de medición
1026 adecuados para cada puesto, de acuerdo al tipo de vibración (punto 4.2.5). En este sentido,
1027 se debe tener en cuenta que en general, la actividad en una jornada es variable, debiendo
1028 considerarse el caso más desfavorable.
- 1029 En el punto 3.6 de este capítulo, a modo de referencia, se facilita un esquema para la
1030 presentación de resultados, que incorpora lo señalado en los párrafos anteriores y su
1031 relación con la medición de la exposición.

1032 **3.4.2 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN.**

1033 **3.4.2.1 Verificación de las Baterías.**

1034 Las baterías o pilas de los instrumentos, analizadores de vibración, acelerómetros transductor,
1035 deberán ser verificadas antes de cada calibración en terreno.

1036 Idealmente se deberá contar con baterías o pilas extras por cualquier eventualidad en terreno,
1037 de manera que la medición no se vea interrumpida por esta causa.

1038 **3.4.2.2 Calibración del Instrumento.**

1039 El instrumento de medición siempre deberá ser calibrado antes de la medición y posterior a ella,
1040 de acuerdo a las instrucciones entregadas por el fabricante (manual del equipo).

1041 Cuando los resultados de la calibración inicial y la posterior verificación de la medición difieran
1042 entre sí en más de un 12% de aceleración equivalente se deberá descartar la medición realizada,
1043 debiéndose registrar los resultados obtenidos. Si esta situación se observa en más de una
1044 oportunidad se recomienda el envío del instrumento al servicio técnico correspondiente.

1045 Se hace presente que el proceso de calibración ajusta toda la cadena instrumental, acelerómetro
1046 – Analizador; por lo tanto, cuando se disponga de más de un instrumento de medición con varios
1047 acelerómetros, se deberá tener la precaución de no intercambiar acelerómetros entre un
1048 Analizador y otro, debido a que se perdería la calibración. En este sentido, se recomienda marcar
1049 los acelerómetros que corresponden a un Analizador en particular. (ver punto 3.2.4 Programa
1050 de mantenimiento y control del equipamiento)

1051 **3.4.2.3 Ubicación del Instrumento.**

1052 **3.4.2.3.1 Ubicación de acelerómetros.**

1053 **Para las mediciones de exposición de cuerpo completo se debe considerar lo siguiente:**

1054 a. Para el caso donde la persona trabajadora permanece en posición fija, la medición deberá
1055 ser realizada en la interface entre el cuerpo de ésta y la superficie vibrante o tan cerca del
1056 área como sea posible, a través de la cual la vibración es transmitida al cuerpo. Para esto
1057 se deberá considerar la posición que adopta la persona trabajadora (sentado o de pie,
1058 respecto de la superficie vibrante).

1059 En algunos casos donde la persona trabajadora permanece en posición sentada, y cuando
1060 la vibración es importante o predomina en la dirección del eje X, puede ser conveniente
1061 posicionar el acelerómetro en la zona dorsal de la persona trabajadora. Si éste es el caso,
1062 se debe tener en consideración que el equipo cuente con la ponderación necesaria para
1063 efectuar esta medición, de acuerdo a lo señalado en el punto 4.2.4 del presente manual.
1064 La condición usual de medición, para el caso de la persona trabajadora sentada, es con la
1065 ubicación del acelerómetro en la superficie horizontal de asiento, ponderando por W_d los
1066 ejes X e Y, y por W_k el eje Z.

1067 b. Para el caso donde la persona trabajadora se desplaza por superficies vibrantes, sin
1068 permanecer en un punto fijo, se deberá instalar el acelerómetro en aquellos puntos
1069 representativos de las posiciones por donde éste se desplaza.

1070 c. Tanto para el caso de una posición fija como también variable, se deberá especificar el
1071 método de montaje. Para tal fin podrán ser utilizados adhesivos, acopladores magnéticos
1072 o un peso que inmovilice el acelerómetro (de mínimo 1 Kg.) de forma de proporcionar
1073 una respuesta equivalente a la que se tendría con un montaje rígido, para el rango de
1074 frecuencia de la exposición de cuerpo completo.

1075 **Para las mediciones de exposición del segmento mano–brazo se debe considerar lo siguiente:**

1076 a. Se debe observar de qué manera la persona trabajadora sujeta la herramienta, parte
1077 vibrante de maquinaria o control manual vibrante al realizar el trabajo, de modo de
1078 identificar la mejor ubicación y orientación del o de los acelerómetros. La ubicación de
1079 dichos transductores debe ser señalada en el futuro reporte o informe de medición.

1080 b. Una vez identificada dicha ubicación se deberá instalar el o los acelerómetros por eje de
1081 medición en el acoplador proporcionado por el fabricante, según las instrucciones de
1082 montaje de la interfaz entre la mano y la superficie en vibración, de tal modo que la
1083 persona trabajadora pueda realizar el trabajo de la manera más normal posible.

1084 c. Es muy importante evitar interferir los controles de la herramienta o maquinaria, así como
1085 en la operación segura de las mismas. En ocasiones, la mejor ubicación del acelerómetro
1086 es donde se encuentra el interruptor de encendido y apagado de la herramienta, por lo
1087 que se debe tener cuidado con que dicho acelerómetro o sus cables no impidan el control
1088 de la misma²¹.

1089 **3.4.2.4 Índices de Medición.**

1090 Para la aplicación del presente manual se considerarán los siguientes índices:

- 1091 - Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje X, a_{eqx} (m/s^2).
- 1092 - Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje Y, a_{eqy} (m/s^2).
- 1093 - Aceleración equivalente ponderada en frecuencia para el eje Z, a_{eqz} (m/s^2).

1094
1095 Para la medición de la exposición de mano–brazo, se deberá utilizar la ponderación en
1096 frecuencia W_h . Para la medición de la exposición de cuerpo completo se deberá utilizar las
1097 ponderaciones W_k , W_d , W_c , dependiendo de la posición de exposición, como se indica en la
1098 siguiente tabla:

1099 **Tabla N° 1: Ponderaciones de frecuencia.**

Ponderaciones	Condición de Aplicación ²²
W_h	Exposición de mano-brazo, ejes Z, X e Y.
W_k	Exposición de cuerpo completo, vertical o posición sentado, eje Z.
W_d	Exposición de cuerpo completo, horizontal o posición sentado, ejes X e Y.
W_c	Exposición de cuerpo completo, posición sentado, eje X, transductor ubicado en zona dorsal.

²¹ Detalles de montaje de acelerómetros pueden observarse en la norma ISO 5349-2:2001/Amd 1:2015. Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace. Amendment 1.

²² ISO 8041-1:2017 Human response to vibration — Measuring instrumentation. Part 1: General purpose vibration meters.

1100 3.4.2.5 Medición de la Vibración.

1101 Para determinar la exposición a vibración de la persona trabajadora, ya sea por exposición de cuerpo
1102 completo o mano-brazo, se utilizará la aceleración equivalente ponderada a_{eq} medida en m/s^2 .

1103 Para el caso de la exposición a vibraciones de cuerpo completo de la persona trabajadora en
1104 posición fija, se deberá efectuar la medición en forma simultánea para cada eje coordinado, (a_{eqx} ,
1105 a_{eqy} y a_{eqz}), considerándose como magnitud adecuada para la evaluación de exposición, el valor de
1106 la aceleración equivalente ponderada en frecuencia (a_{eq}), utilizando la ponderación en frecuencia
1107 W_k para el eje Z y la ponderación W_d para los ejes X e Y. Los tres valores de a_{eq} en las respectivas
1108 direcciones deberán corresponder al mismo evento de vibración que se está estudiando.

1109 Complementariamente, la cuando persona trabajadora se encuentra sentada, y se quiera
1110 cuantificar la exposición a vibraciones a cuerpo completo en la posición dorsal, se deberá efectuar
1111 una medición en forma simultánea para cada eje de coordenadas (a_{eqx} , a_{eqy} y a_{eqz}), considerándose
1112 como magnitud adecuada para la evaluación de la exposición el valor de la aceleración equivalente
1113 ponderada en frecuencia (a_{eq}), utilizando la ponderación W_c para el eje X, W_d para el eje Y, y W_k
1114 para el eje Z, **con constante de tiempo de 1 segundo**. Los tres valores de a_{eq} en las respectivas
1115 direcciones, deberán corresponder al mismo evento de vibración que se está estudiando.

1116 Análogamente, para determinar la exposición a vibraciones del componente mano-brazo, se
1117 deberá efectuar la medición en forma simultánea en los tres ejes de coordenadas,
1118 considerándose como magnitud adecuada para la evaluación de la exposición, el valor de la
1119 aceleración equivalente ponderada en frecuencia (a_{eq}), utilizando la ponderación en frecuencia
1120 W_h para todos los ejes. Los tres valores de (a_{eq}), en las respectivas direcciones, deberán
1121 corresponder al mismo evento de vibración que se está estudiando.

1122 Independiente del tipo de vibración e instrumento utilizado, se deberá estar atento a la
1123 medición, de forma de considerar los eventos de vibración que aportan a la exposición a
1124 vibración de la persona trabajadora evaluada, según estudio previo (detallado en el punto 4.1.
1125 Se deberán descartar aquellas vibraciones producidas accidentalmente, intencionalmente o
1126 debido a otro motivo. Por ejemplo, es común que el operador de un vehículo del tipo grúa de
1127 horquilla, durante su trabajo, deba subir y bajar continuamente de éste, lo que en algunas
1128 oportunidades ocasiona en el acelerómetro impactos que son inducidos por la persona
1129 trabajadora y no corresponden a un evento vibratorio originado por la operación del vehículo
1130 o fuente, trayendo como consecuencia un aumento significativo de la aceleración equivalente
1131 ponderada, situación que se rectifica editando el registro de la vibración con la eliminación de
1132 los impactos en el inicio y término de cada tramo o ventana de actividad con este vehículo.

1133 La edición del registro de vibración también es oportuna cuando la operación de un vehículo, o
1134 herramienta manual, han tenido períodos de inactividad significativos. En estos casos la
1135 medición se puede validar eliminando del registro los períodos de inactividad para luego
1136 recalcular la aceleración equivalente ponderada, siempre y cuando se cuente con una cantidad
1137 de muestras que cumpla con el criterio de tiempo mínimo de medición dado en la tabla N°2
1138 indicada más adelante. Para este caso, se deberá analizar detalladamente la cantidad de veces
1139 que esa muestra se manifestaría durante una jornada laboral, estableciendo adecuadamente el
1140 *tiempo de exposición* y, luego, proyectando la muestra a la jornada completa, para efectos de la
1141 evaluación.

1142 Cuando sea posible se recomienda acompañar las mediciones con registros fotográficos o de
 1143 video, para correlacionar los eventos vibratorios con las operaciones efectuadas por la persona
 1144 trabajadora. Este tipo de registro también aportará información para profundizar en la
 1145 identificación y posible evaluación de otros factores de riesgos que se pueden manifestar
 1146 simultáneamente con la vibración como fuerza aplicada, movimiento repetitivo, posturas
 1147 estáticas, etc.

1148 **3.4.2.5.1 Tiempo De Medición.**

1149 La medición de las vibraciones en el puesto de trabajo se deberá efectuar, de preferencia,
 1150 durante todo el tiempo de exposición y bajo condiciones normales de operación.

1151 No obstante, lo señalado en el párrafo anterior, se podrá considerar un tiempo de medición
 1152 inferior siempre y cuando la muestra obtenida represente el comportamiento del agente
 1153 durante todo el tiempo de exposición. Para este fin, se deberán tomar en cuenta los
 1154 antecedentes obtenidos durante el estudio previo (punto 4.1 del presente manual). De cualquier
 1155 forma, se deberá señalar explícitamente el tiempo de medición utilizado.

1156 Si la actividad implica la exposición a vibraciones de un trabajador a distintas fuentes de
 1157 vibración, tiempos de exposición distintos, en procesos y/o actividades distintas etc., se deberá
 1158 medir la a_{eq} de cada caso de manera individual, para luego obtener la a_{eq} representativa de la
 1159 jornada completa. Si un proceso está constituido por varios ciclos de trabajo, con varios ciclos
 1160 de exposición, el tiempo de medición que se utilice corresponderá a la suma de todos los ciclos
 1161 de exposición que se consideren según el estudio previo.

1162 Los tiempos mínimos de medición, dependiendo tanto del tipo de exposición, del tipo de
 1163 vibración y de los ciclos de exposición, determinado en el estudio previo, (Punto 3.4.1 del
 1164 presente manual), son lo que se presentan en la Tabla 3.2:

1165 **Tabla 3.2: Tiempos mínimos de medición.**

Tipo de exposición	Vibración	Tiempos Mínimos de Medición
Cuerpo Completo	Aleatoria	30 minutos
	Cíclica	1 ciclo a lo menos
	Estable	5 minutos
Mano – brazo	Cíclica	1 ciclo a lo menos

1166

1167 Sin perjuicio de lo señalado en los párrafos anteriores, siempre se deberá indicar explícitamente
 1168 el tiempo de medición.

1169 **3.5 CONSIDERACIONES DURANTE LA MEDICIÓN.**

1170 Durante la realización de la medición es importante considerar algunos aspectos que podrían
 1171 influir en los resultados y, por ende, en el objetivo de la misma y que son relevantes de tener en
 1172 cuenta. Éstas son:

- 1173 a. Estar siempre presente en el lugar de la medición y atento a cualquier situación que se
 1174 produzca y que pueda afectar o influir en el resultado de la misma. De detectarse alguna



- 1175 condición anómala o no concordante con una situación normal se debe considerar la
1176 suspensión de la medición.
- 1177 b. Monitorear ocasionalmente la posición correcta del acelerómetro; una posición incorrecta
1178 podría generar niveles de aceleración vibratoria que se traducirían en valores erróneos de
1179 exposición.
- 1180 c. Monitorear que el equipo esté funcionando normalmente. Generalmente, esto se logra con
1181 la verificación de la existencia de datos o información en la pantalla del equipo.
- 1182 d. Vigilar ocasionalmente los valores que se están midiendo para verificar que tengan
1183 concordancia con los de aceleración vibratoria equivalente típico, presentes durante la
1184 medición. La experiencia en mediciones permitirá verificar que los valores de aceleración
1185 vibratoria, presentes en el lugar de trabajo durante la medición, son concordantes o tienen
1186 relación con los valores de este descriptor que son presentados en la pantalla del equipo.
- 1187 e. Observar permanentemente la ubicación de las personas trabajadoras que están siendo
1188 evaluados. Con esto se busca que éstos no se encuentren en áreas o zonas que no
1189 corresponden a una situación normal o difieren a la situación cotidiana presente en su
1190 quehacer habitual. De ser así se debería indagar el porqué de la situación y evaluar la
1191 posibilidad de suspender la medición.
- 1192 f. Contar con todos los elementos de protección personal contra los riesgos presentes en el
1193 lugar donde se va a realizar la medición. La realización de una medición de agentes de
1194 cualquier tipo debe considerar que la persona que la realiza estará expuesta a condiciones
1195 inseguras, tanto en el ámbito de la higiene como la seguridad industrial y, por ende, éste
1196 debe contar con todos aquellos elementos de protección personal que aseguren su
1197 seguridad e integridad, producto de dichas exposiciones. Esto quiere decir, por tanto, que
1198 dicha persona conozca y use adecuadamente cada uno de los elementos de seguridad.
- 1199 g. Independientemente que el instrumento de medición registre en memoria los valores
1200 medidos, se recomienda anotar en la ficha de medición los resultados que se vayan
1201 obteniendo (a_{eq} , tiempo de medición, etc.). Es posible que, en algunos casos, los valores
1202 registrados en el equipo, producto de algún mal funcionamiento, puedan perderse, lo que
1203 implicaría tener que volver a realizar la campaña de mediciones nuevamente. Por esto, es
1204 aconsejable que, aunque el equipo permita guardar en memoria los valores obtenidos en
1205 las mediciones, de todas maneras, se registre en las fichas de mediciones los valores de
1206 aceleración vibratoria medidos en cada puesto de trabajo evaluado. Se recomienda, además
1207 si el instrumento lo permite, registrar los valores de otros índices importantes que apunten
1208 a una mejor caracterización del puesto de trabajo evaluado, como la Dosis de Vibración.
- 1209 h. Es muy aconsejable que, previo al inicio de la medición, se converse con la persona
1210 trabajadora para explicarle todos los aspectos relacionados con la misma. En este sentido,
1211 junto con tratar de establecer una relación empática con la persona trabajadora, de forma
1212 de que participe y contribuya con la medición, se le indicará lo siguiente:
- 1213 i. Finalidad y trascendencia de la actividad: es importante recalcarlo, en un lenguaje
1214 sencillo a cada uno de las personas trabajadoras que colaborarán en la toma de
1215 muestra, que lo que se busca obtener con dicha medición es para fines de
1216 investigación respecto a la exposición a vibraciones. Se le debe indicar, además, que

1217 dicha actividad es de suma importancia para él, puesto que los resultados que se
1218 obtengan podrían generar una serie de acciones preventivas enmarcadas en un
1219 programa de vigilancia de la salud.

1220 ii. Breve descripción de las características más relevantes del equipo usado: más allá
1221 de los aspectos técnicos del equipo debe aclarársele a las personas trabajadoras:

1222 - Qué hace el instrumento de medición: señalarle que éste transforma la energía
1223 producida por la vibración en variaciones de voltaje y las convierte en
1224 aceleración vibratoria.

1225 - Precauciones para una buena toma de muestra de aceleración vibratoria: Que
1226 no golpee el acelerómetro con la mano o algún objeto.

1227 - Respecto a lo anterior, que no permita que sus compañeros lo hagan.

1228 iii. Respecto a lo que se espera de la persona trabajadora: para un mejor resultado de
1229 la actividad, explicar a ellas:

1230 - Que debe desarrollar todas sus actividades en forma normal.

1231 - Que si, por algún motivo, va a efectuar una actividad que no forma parte de sus
1232 quehaceres habituales le informe previamente al evaluador. Si ésta es la
1233 situación, el equipo debe ser retirado momentáneamente, en el caso de que sea
1234 necesario, mientras efectúa esa actividad extraordinaria; y cuando reinicie las
1235 funciones normales, debe reinstalársele dicho equipo.

1236 En ocasiones, el instrumento puede presentar fallas durante la medición no atribuibles a su
1237 manipulación, sino que al equipo mismo o a factores ambientales como temperatura, campos
1238 electromagnéticos, etc. En estos casos la medición debe ser descartada y sus resultados no
1239 deben ser considerados, debiendo repetirse el proceso en otra oportunidad si fuera necesario,
1240 realizando previamente los chequeos correspondientes al instrumento para verificar un
1241 correcto estado de funcionamiento.

1242 Finalmente, se adjunta en el ítem 6 una propuesta para el registro de los datos en terreno
1243 resumidos en la "Ficha para la Evaluación Exposición a Vibración Ocupacionales y de
1244 Reconocimiento y Mediciones".

1245

1256 1.4 IDENTIFICACIÓN PROFESIONAL(LES) QUE EFECTÚA(N) EL RECONOCIMIENTO:

--

1257

1258 2. MEDICIONES.

1259 2.1 INSTRUMENTACIÓN.

Instrumento	Marca	Modelo	Nº de Serie
Calibrador de vibración.			
Analizador de vibración.			

1260

1261 2.2 PLAN DE MEDICIONES:

Puestos de trabajo y/o lugares de medición seleccionad
Condiciones de Medición:

1262

1263 2.3 VALORES OBTENIDOS.

1264 2.3.1 Exposición a Vibración.

Nº	Puesto de trabajo	Persona trabajadora	Marca, modelo y Nº de serie del instrumento.	Tiempo de medición, [h].	Tiempo de efectivo exposición, [h].	a _{eq} medido [m/s ²]		
						X	Y	Z
1								

1265

1266 2.4 IDENTIFICACIÓN PROFESIONAL(LES) QUE EFECTÚA(N) LAS MEDICIONES

--

1267

1268 **CAPITULO IV**

1269 **ILUMINACIÓN**

1270

1271

1272 **4.1 INTRODUCCIÓN**

1273 Una adecuada medición de la iluminación es fundamental para garantizar la seguridad, el
1274 confort visual y el desempeño eficiente de los trabajadores, contribuyendo de esta forma, a la
1275 prevención de riesgos asociados a la fatiga visual, errores operativos y accidentes.

1276 El Manual de Mediciones y Toma de Muestras, específicamente en la materia de Iluminación
1277 en los Lugares de Trabajo, tiene como propósito establecer lineamientos técnicos y
1278 metodológicos que permitan evaluar de manera objetiva las condiciones de iluminación
1279 presentes en los distintos puestos laborales, poniendo especial énfasis en aspectos como de
1280 diseño como el color, además de aspectos asociados a la correcta selección y uso de la
1281 instrumentación correspondiente, interpretación de los resultados y los criterios normativos
1282 aplicables, asegurando así que los lugares de trabajo cumplan con los estándares legales y
1283 técnicos vigentes en materia de higiene y seguridad ocupacional.

1284

1285 **4.2 CONCEPTOS**

- 1286 a. **Iluminación General:** La iluminación general es aplicada para producir una iluminación
1287 más o menos uniforme sobre el plano de trabajo en toda el área involucrada, sin tomar
1288 encuentra requisitos especializados. Se recomienda que la uniformidad de la iluminancia
1289 (E) sea: $E_{\text{mínima}}/E_{\text{media}} = 0.81$.
- 1290 b. **Iluminación localizada:** Es aplicada cuando en los puestos de trabajo se requiere dar
1291 mayor confortabilidad visual al trabajador.
- 1292 c. **Iluminación Local:** Se aplica cuando la exigencia visual es rigurosa para una tarea visual
1293 específica, en que no es suficiente la iluminación general ni la localizada.
1294



1295

1296

- 1297 d. **Temperatura de color Correlacionada (TCC o CCT):** Es una medida que describe el *color*
1298 *aparente de la luz (tonalidad) emitida por una fuente*, comparándola con un radiador de
1299 cuerpo negro, medida en grados Kelvin.
- 1300 e. **Luminancia:** Magnitud expresada en cd/m^2 que describe la cantidad de luz emitida o
1301 reflejada por una superficie en una dirección determinada. Está directamente relacionada
1302 con la percepción de brillo por parte del ojo humano. Niveles elevados de luminancia,
1303 especialmente en contraste con el entorno, pueden provocar deslumbramiento y afectar
1304 de manera adversa a las personas

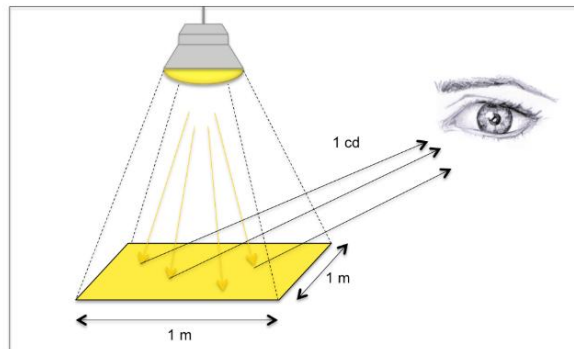


Imagen 14 - Luminancia

1305

1306

f. **Iluminancia:** Es la cantidad de flujo luminoso que recibe una superficie por unidad de área, medida en lux.

1307

1308

g. **Flujo Luminoso:** Cantidad total de luz visible emitida por una fuente, medida en lumen.

1309

h. **Intensidad Luminosa:** Flujo luminoso que se irradia en una dirección específica, medido en candela (cd).

1310

1311

1312

4.3 LA ILUMINACIÓN EN ESPACIOS DE TRABAJO.

1313

4.3.1 Fundamentos Generales

1314

La Luz visible se define como un tipo de radiación (energía radiante) *que es capaz de excitar la retina del ojo humano y producir, en consecuencia, una sensación visual, desencadenando el proceso de percepción visual*, situándose en el rango de longitudes de onda que va aproximadamente desde los 380 a los 750 nanómetros (nm).

1315

1316

1317

1318

De forma de poder cuantificar este tipo de luz, se ha desarrollado la *Fotometría*, disciplina técnica que define los parámetros claves a cuantificar, tales como el *Flujo Luminoso* (medido en lumen), *Intensidad Luminosa* (medido en candela), *Iluminancia* (medida en lux) y *Luminancia* (medida en cd/m^2), respectivamente. Sin embargo, más allá de la cantidad de iluminación existente, también es importante considerar aspectos relacionados con la percepción de ésta y su confort visual, ambos asociados al concepto de “color”, cuantificable a través de los parámetros “*temperatura del color*” e “*índice de rendimiento cromático*” (los cuales serán desarrollados más adelante en el punto 3.3 del presente documento).

1319

1320

1321

1322

1323

1324

1325

1326

Por otra parte, es importante señalar que, junto con la magnitud de iluminación y el color de ésta, se debe considerar que para que un sistema de iluminación sea eficaz y eficiente, su diseño deberá estar adaptado en función del espacio disponible, considerando tanto el tipo de luminaria (adecuada a la necesidades y condiciones existentes entre LED, Fluorescentes compactas e incandescentes/halógenas)²³, como también el uso de iluminación general y/o localizada, según sea el caso.

1327

1328

1329

1330

1331

1332

1333

NOTA. Como el objetivo del presente manual es entregar directrices para la medición y obtención de una iluminación acorde a las necesidades de las tareas en los lugares de trabajo, se priorizarán las temáticas principales relacionadas, sin ahondar mayormente en conceptos y fundamentos, los cuales pueden ser consultados en la bibliografía correspondiente [1].

1334

1335

1336

²³ La elección correcta de una fuente de luz no sólo debe ser considerada como la opción más económica, sino que dependerá mucho de las necesidades requerida como, por ejemplo, una baja emisión de calor o de ruido y mayor eficiencia energética, entre otras.

1337 **4.3.2 Ventajas de contar con una buena iluminación.**

1338 Una buena iluminación tiene un impacto directo y significativo en varios aspectos clave de la
1339 salud, la seguridad y el desempeño de las personas trabajadoras en sus lugares de trabajo, tales
1340 como:

- 1341 - **Prevención de Accidentes.** Una buena iluminación es crucial para la seguridad, ya que
1342 permite a los trabajadores percibir correctamente las distancias, los contornos de los
1343 objetos y cualquier peligro potencial (obstáculos, derrames, equipos en movimiento). A su
1344 vez, facilita la lectura de documentos, etiquetas y el manejo seguro de maquinaria y
1345 herramientas, entre otros aspectos.
- 1346 - **Mayor Productividad.** Una iluminación adecuada facilita la concentración y la precisión en
1347 las tareas por parte de las personas trabajadoras, ya que, al poder ver claramente, éstas
1348 son más rápidas y eficientes, lo que se traduce en un mejor rendimiento laboral y una
1349 reducción en la tasa de errores.
- 1350 - **Aumento de la Concentración.** Una iluminación óptima reduce la fatiga visual y mental,
1351 permitiendo a las personas trabajadoras mantenerse enfocadas por períodos más largos.
- 1352 - **Mejora del Estado de Ánimo y Creatividad.** Una buena iluminación, especialmente la luz
1353 natural, influye positivamente en el estado de ánimo, reduciendo el estrés y la ansiedad y,
1354 por lo tanto, fomentando un ambiente más propicio para la inspiración y la creatividad.
- 1355 - **Reducción de la Fatiga Visual y Prevención de Molestias Físicas.** Una iluminación
1356 insuficiente, o mal distribuida, obliga a los ojos a realizar un esfuerzo adicional, causando
1357 cansancio ocular, sensación de pesadez y visión borrosa. Además, podría ser causa de
1358 dolores de cabeza, migrañas y fatiga muscular generadas por la adopción de posturas
1359 incómodas al intentar acercarse o alejarse de la luz.
- 1360 - **Regulación de Ritmos Circadianos.** La exposición a luz adecuada (especialmente luz natural)
1361 durante el día ayuda a regular el ciclo sueño-vigilia del cuerpo, lo que mejora la calidad del
1362 sueño nocturno y el estado de alerta durante el día.

1363 **4.3.3 Color.**

1364 El color se relaciona con una cualidad de la luz que puede ser absorbida o reflejada por los
1365 objetos. Cada objeto adopta un color determinado en función de las longitudes de onda de la
1366 luz blanca que absorbe y de aquellas que refleja. Las ondas reflejadas son captadas por el ojo
1367 humano y posteriormente interpretadas por el cerebro. Por lo tanto, el color percibido en un
1368 ambiente depende directamente de las características de la luz que lo ilumina.

1369 De esta forma, en el contexto de la iluminación, el color se define mediante dos parámetros
1370 principales, los cuales se describen a continuación:

- 1371 - **Temperatura de Color Correlacionada (TCC o CCT).** Tal cual lo definido en el punto 4.2, este
1372 parámetro describe la tonalidad de la luz emitida por una fuente luminosa, específicamente
1373 de la luz blanca, no siendo una medición de la temperatura física, sino que una referencia al
1374 color que emitiría un cuerpo negro calentado a esa temperatura. Al respecto, es interesante
1375 conocer que diferentes tonalidades de la luz blanca causan efectos psicológicos diferentes,
1376 los cuales pueden ser aplicados a ambientes específicos según su objetivo, tal cual lo
1377 describe la siguiente Tabla 4.1:

1378

1379

Tabla 4.1. Tonalidad de la Luz

Tonalidad de la Luz	Rango TCC	Apariencia y Efecto
Blanco cálido	< 3300 K	Tonalidad amarilla/rojiza; Crea ambientes acogedores y relajantes.
Blanco neutro	3300 K - 5300 K	Tonalidad limpia y natural (similar a la luz del sol al mediodía); Equilibrada.
Blanco frío	> 5300 K	Tonalidad azulada; Se percibe como más brillante y estimulante.

1380

1381 - **Índice de Reproducción Cromática (IRC o CRI)**. Métrica medida en una escala de 0 a 100,
 1382 que indica la capacidad de una fuente de luz para reproducir fielmente los colores de los
 1383 objetos, en comparación con una fuente de luz natural ideal (como la luz solar (IRC 100)),
 1384 considerándose que un IRC ≥ 80 generalmente bueno para la mayoría de las aplicaciones,
 1385 presentándose colores vivos, precisos y reales²⁴.

1386 De lo descrito anteriormente se desprende que, la estimación del color en el contexto de la
 1387 iluminación presenta una gran importancia, sobre todo en la etapa de diseño de ésta, ya que
 1388 influye directamente en la percepción del ambiente (cálido o frío), pudiendo ser posible su
 1389 cuantificación a través del uso de un equipamiento especial denominado espectrorradiómetro²⁵,
 1390 o bien, a través de un cálculo matemático establecido para tal fin, a partir del espectro de la luz²⁶.

1391 Si bien la normativa legal en Chile respecto de las condiciones sanitarias básicas en los lugares
 1392 de trabajo - Decreto Supremo N°594/99 del Ministerio de Salud - no explicita requerimientos
 1393 para el color (sí para la iluminancia y luminancia), es recomendable poder considerar esta
 1394 variable al menos a nivel de diseño, ya que se obtendrá un impacto directo y significativo en la
 1395 seguridad, bienestar y productividad de las personas trabajadoras, manteniendo siempre un
 1396 equilibrio entre los parámetros que la describen²⁷.

1397

1398 **4.4 EVALUACIÓN DE LA ILUMINACIÓN**

1399 Tal como se indica en el punto anterior, en Chile es el Decreto Supremo N°594/99 del Ministerio
 1400 de Salud el que fija los valores de iluminancia (en lux) y luminancia (en cd/m^2), además de las
 1401 relaciones correspondientes para los ambientes de trabajo, utilizándose como metodología de
 1402 medición lo indicado por el Laboratorio Nacional y de Referencia en Salud Ocupacional, Instituto
 1403 de Salud Pública de Chile, en su documento **Instructivo para la Evaluación de Luminancia e**
 1404 **Iluminancia en los lugares de trabajo**²⁸, texto donde se describe en detalle los pasos a seguir
 1405 para medir y evaluar los parámetros señalados (luminancia e iluminancia), junto con establecer
 1406 directrices generales para el equipamiento a utilizar. En suma a lo anterior, a continuación se
 1407 presenta una serie de indicaciones que permitirán orientar estos procesos de manera más
 1408 eficiente.

²⁴ IRC menores a 70 se asocian a colores apagados y más bien distorsionados

²⁵ Dispositivo que mide la distribución espectral de la potencia (SPD) de la luz emitida, o sea, la energía que hay en cada longitud de onda del espectro visible (rojo, verde, azul, etc.)

²⁶ Estimación matemática que relaciona la cromaticidad de la fuente de luz con el Locus de Planck (la trayectoria de color de un cuerpo negro) explicitado en la normativa CIE 1931 (diagrama de cromaticidad).

²⁷ En resumen, para la seguridad y la fidelidad del color en un ambiente laboral, es importante priorizar una alta iluminancia (en lux) con un alto IRC (≥ 80), combinándolo con una TCC neutra o fría para optimizar la concentración, o bien, una TCC cálida en caso de lugares de reuniones informales y/o áreas de descanso.

²⁸ www.ispch.cl/salud-de-los-trabajadores/publicaciones-de-referencia/iluminacion/

1439 para diferentes aplicaciones, desde mediciones industriales de alta precisión, hasta
1440 verificaciones de rutina.

1441 Otra normativa de referencia internacional para este tipo de equipamiento es la ISO/CIE
1442 19476:2014, anteriormente conocida como CIE 19476, la cual también establece requisitos y
1443 métodos para la caracterización del rendimiento de estos equipos, presentando también una
1444 clasificación de éstos (A, B y C), con ligeras variaciones en los límites de error permitidos para
1445 cada parámetro en relación a la DIN 5032-7.

1446 4.4.2.1 La Norma DIN 5032-7:2017-02. define varias clases de precisión para los luxómetros y
1447 luminancímetros, basándose en el error total máximo permitido del instrumento, el
1448 cual se calcula a partir de los errores asociados a la *adaptación a la curva de sensibilidad*
1449 *del ojo humano (corrección espectral $V(\lambda)$)* y a la *respuesta al ángulo de incidencia de la*
1450 *luz (corrección de coseno)*, principalmente. Las clases o clasificación indicadas en la
1451 norma, se presentan en forma simplificada en la siguiente tabla 4.2, asociándolas a
1452 aplicaciones típicas para cada caso³¹.

1453

1454

Tabla 4.2 Clasificación DIN 5032-7

Clasificación DIN 5032-7	Aplicación Típica
L (Laboratorio Máxima precisión)	Calibración de referencia, investigación, laboratorios primarios.
A (Alta Precisión)	Mediciones de alta calidad, verificación de conformidad legal.
B (Precisión Media)	Mediciones de control de calidad, inspecciones de alumbrado general y mediciones de Higiene y Seguridad.
C (General)	Mediciones indicativas, control rápido y rutinario en el campo.

1455

1456 Dependiendo de la procedencia del equipo, también existen otras normativas de
1457 importancia a considerar, tales como la japonesa JIS C 1609-1:2006, la cual es
1458 equivalente a la DIN 5032-7 pero con ligeras diferencias, dadas para la clasificación de
1459 los luxómetros AA; A; B y “Precisión”, respectivamente.

1460 4.4.2.2 ISO/CIE 19476:2014. El objetivo principal de esta norma es detallar con precisión
1461 cómo evaluar la calidad de un fotómetro (luxómetro o luminancímetro), basándose
1462 en la cuantificación de una serie de errores técnicos que afectan la medición de la
1463 luz.

1464 Esta norma no solo clasifica, sino que también presenta los procedimientos de prueba
1465 que se deben seguir para determinar si un instrumento cumple con los requisitos de
1466 una determinada clase o clasificación de precisión, lo que resulta esencial respecto de
1467 qué se debe *verificar en un laboratorio para emitir un certificado de calibración*
1468 *confiable*.

1469 Al igual que la DIN 5032-7, la ISO/CIE 19476 establece un marco de rendimiento del
1470 instrumento³², en relación a lo siguiente:

³¹ Es importante señalar que, para la determinación final de las clases, la norma DIN 5032-7 considera también otros errores asociados a la fatiga, la no linealidad, la temperatura, y la incertidumbre de la calibración.

³² A efectuar por un laboratorio de calibración reconocido en la materia.

- 1471 - *Verificación de Parámetros:* estimación de cada uno de los errores definidos (f_1 , f_2 ,
1472 f_3 , etc.) del fotómetro, los cuales se explicitan en la norma.
- 1473 - *Determinación de la Clase/Clasificación:* el instrumento solo puede ser clasificado
1474 como Clase A, B o C si todos sus errores medidos están dentro de los límites
1475 máximos permitidos para cada una de éstas³³.
- 1476 - *Ajuste del Factor de Calibración:* determinar que el instrumento lea correctamente
1477 el valor de la magnitud fotométrica (lux o cd/m^2) a un nivel de referencia específico,
1478 demostrando que este ajuste sea válido a través de diferentes condiciones (como
1479 ángulo o temperatura).
- 1480 -

1481 **4.4.3 ¿Cómo elegir correctamente un Equipo para medir Iluminación?**

1482 En el contexto de la Higiene Industrial, y específicamente en los lugares de trabajo de nuestro
1483 país, necesariamente para poder cuantificar la iluminación en éstos, se debe contar con
1484 fotómetros que puedan cuantificar la iluminancia (en lux) como también la luminancia (en
1485 cd/m^2), siguiendo la metodología establecida en el *Instructivo para la Evaluación de Luminancia*
1486 *e Iluminancia en los Lugares de Trabajo* del Instituto de Salud Pública de Chile. Sin embargo, no
1487 cualquier fotómetro debe ser utilizado, sino que debe contar con un respaldo técnico mínimo,
1488 en cuanto a precisión y calidad, lo que permitirá demostrar la trazabilidad de los valores
1489 obtenidos.

1490 En este contexto, el primer criterio para seleccionar correctamente un fotómetro para
1491 mediciones de Higiene y Seguridad en los lugares de trabajo, es que éste cuente con, al menos,
1492 dos correcciones críticas para uso: *Corrección Espectral* ($V(\lambda)$), la cual simula la sensibilidad del
1493 ojo humano a las diferentes longitudes de onda de la luz, y la *corrección de Coseno*, donde se
1494 garantiza que el equipo mida la luz que llega desde todos los ángulos (no solo
1495 perpendicularmente), con precisión³⁴. Al respecto, lo anterior se puede verificar comprobando
1496 que el equipo a utilizar sea de al menos *clase o clasificación B*, según la norma DIN 5032-7 y/o
1497 ISO/CIE 19476, según sea el caso³⁵, lo cual debe ser demostrado a través de la existencia de un
1498 certificado inicial de calibración correspondiente.

1499 NOTA: Para chequeos rutinarios del estado de la iluminación (no una evaluación higiénica), un
1500 instrumento clase C podría ser suficiente.

1501 Ahora bien, es importante que, al momento de seleccionar el equipo, además de considerar la
1502 calidad de éste (descrita en el párrafo anterior) y aspectos de índole económico, también se
1503 consideren aspectos de índole funcional, tales como:

- 1504 - *Rango de Medición:* los niveles de iluminación a encontrar en los lugares de trabajo,
1505 tanto de iluminancia como de luminancia, variarán de acuerdo a las tareas realizadas
1506 y a las condiciones existentes de cada lugar en un amplio rango, por lo que
1507 necesariamente se debe contar con un equipamiento que permita poder cubrirlo,
1508 manteniendo sus características de linealidad³⁶.

³³ Estas clases de precisión, con ligeras variaciones en los límites de error permitidos para cada parámetro, son prácticamente equivalentes a las señaladas por la DIN 5032-7

³⁴ De cualquier forma, el sensor del equipo debe tener una cabeza difusora adecuada.

³⁵ Podrán aceptarse otros criterios de clasificación internacionales, tales como los de la norma JIS C 1609-1:2006 u otra equivalente, siempre y cuando éstos sean igual o mejores al ya explicitado (clase B según DIN 5032-7 y/o ISO/CIE 19476).

³⁶ Como referencia, es posible verificar los rangos establecidos por la normativa vigente (D.S. N°594/99), además de aquellos requerimientos que puedan estar asociados a iluminación de emergencia (valores bajos)

- 1509 - *Tipo de iluminación a cuantificar:* normalmente, en los lugares de trabajo se utilizan
1510 diferentes tipos de luminarias, destacándose últimamente las de tecnología LED. Sin
1511 embargo, existen instrumentos antiguos que sólo están calibrados para luz
1512 incandescente, por lo que, si éste es el caso, se obtendrían valores no representativos
1513 en caso de existencia de este tipo de luz (LED).
- 1514 - *Sensor remoto:* en algunas ocasiones, la sombra del operador puede influir en la
1515 cuantificación de la magnitud de la luz, inclusive en aquellos equipos que cuenten con
1516 el sensor conectado por cable al cuerpo del medidor. En estos casos, es recomendable
1517 que el equipamiento pueda contar con un sistema de activación remota, de forma de
1518 evitar este problema.
- 1519 - *Registro de datos (data-logger):* muchos de los medidores entregan un valor puntual
1520 en pantalla, lo que dificulta su registro en papel, por lo que el almacenamiento
1521 automático de los datos, permite una optimización de la medición en sí, información
1522 que puede ser fácilmente transferida al computador y, por ende, analizada para la
1523 confección del informe de evaluación respectivo.

1524 Finalmente, es importante reiterar la importancia de realizar la calibración del equipamiento
1525 (fotómetro), en una entidad que cuente con reconocimiento para tal fin³⁷ con alcance a la
1526 norma ISO/CIE 19476, requisito que se debe considerar al momento de la compra del equipo, y
1527 cada dos años, cuando se gestione la compra de servicios de calibración, según lo establecido
1528 en el **Instructivo para la Evaluación de Luminancia e Iluminancia en los lugares de trabajo**.

1529

1530 **4.4.4 Consideraciones para una correcta Mantenimiento del equipamiento**

1531 Una vez seleccionado y en uso el fotómetro (luxómetro y/o luminancímetro), además de las
1532 calibraciones señaladas en el ítem anterior, se hace necesario considerar algunos aspectos de
1533 importancia para una correcta mantención del equipo en el tiempo, las cuales se detallan a
1534 continuación:

- 1535 - Mantener el sensor fotosensible del equipo limpio (evitar polvo y grasa), usando paños
1536 especiales y evitando químicos abrasivos.
- 1537 - Guardar el equipo y su sensor en su estuche protector una vez utilizado, de forma de
1538 evitar golpes y la exposición a humedad y/o polvo.
- 1539 - Evitar exponer el equipo y su fotocelda a fuentes de luz excesivamente intensas (luz
1540 solar directa prolongada, láser, arco eléctrico), ya que éstos pueden dañarse.
- 1541 - Verificar periódicamente que el sistema óptico (lentes y diafragmas) de equipo esté
1542 alineado y en buenas condiciones, junto con el estado de los cables y conectores de
1543 éste.
- 1544 - Evitar la exposición a golpes y vibraciones, ya que se puede desajustar el sistema
1545 interno del equipo.
- 1546 - Verificar regularmente el estado de la batería del equipo, de forma de garantizar el
1547 funcionamiento y duración de ésta. En caso de utilizarse un sistema de pilas y/o
1548 baterías desechables, de forma de evitar corrosión y daños en el equipo, se debe tener
1549 especial cuidado en retirarlas de éste, una vez efectuada la medición correspondiente.

³⁷ El reconocimiento de la entidad puede ser de origen regional (por ejemplo, la Comunidad Europea (ésta presenta un modelo de reconocimiento válido para sus países miembros)), o bien, a través de una acreditación tipo ISO 17025 para laboratorio de calibración, en el alcance señalado.

1550 **4.5 INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA VIGENTE Y EJEMPLOS PRÁCTICOS.**

1551 Actualmente, la metodología de evaluación de la iluminación en los lugares de trabajo, desde el
1552 punto de vista higiénico, está dada por el **Instructivo para la Evaluación de Luminancia e**
1553 **Iluminancia en los lugares de trabajo**, documento en donde se describen los pasos a seguir para
1554 la obtención de los valores de iluminancia en lux, y de luminancia en cd/m^2 , los que dependiendo
1555 del caso específico, se deben comparar con los estándares existentes en el D.S. N°594/99 del
1556 MINSAL para estas magnitudes. Sin embargo, no siempre resulta fácil aplicar los criterios
1557 mencionados, ya que las condiciones existentes en los ambientes de trabajo muchas veces
1558 dificultan la adopción de éstos y, por ende, la obtención de resultados confiables.

1559 Por tal razón, a continuación, se entregan recomendaciones respecto de cómo abordar e
1560 implementar la metodología descrita en el **Instructivo para la Evaluación de Luminancia e**
1561 **Iluminancia en los lugares de trabajo** y la reglamentación mencionada.

1562 **4.5.1 Iluminancia.**

1563 Tal cual lo establecido en el Instructivo del ISP, la iluminancia se debe cuantificar a nivel de la
1564 superficie de trabajo, la cual puede ser muy disímil de un caso a otro dependiendo de la
1565 actividad o faena que se realice. Por ejemplo, no es lo mismo evaluar pasillos por donde transita
1566 el personal de la entidad empleadora que lugares en donde se necesite estar monitoreando
1567 continuamente un panel de control, o bien, se estén efectuando labores con dificultad visual,
1568 tales como ciertos ensayos de laboratorio, trabajos finos de mantención o procedimientos
1569 quirúrgicos, entre otros.

1570 Por ejemplo, para el caso de pasillos de paso (medición de carácter general), se entenderá que
1571 la medición deberá realizarse con un luxómetro a 80 cm desde el suelo, en los puntos que se
1572 determinen dependiendo del largo de éste y tránsito de personas trabajadoras, siguiendo las
1573 recomendaciones señaladas al respecto por el Instructivo del ISP en su punto 6.3.1.3³⁸. Por otra
1574 parte, para el caso de la obtención de la iluminancia para una tarea con dificultad visual,
1575 necesariamente se deberá establecer el área de influencia de la “tarea visual” de la persona
1576 trabajadora y, de esta forma, generar la grilla respectiva en un plano de ésta (área)³⁹ para la
1577 obtención del valor promedio representativo de la tarea, según lo indicado en el punto 6.3.1.2
1578 del Instructivo mencionado.

1579 Ahora bien, ¿qué pasa entonces cuando se cuenta con varias personas trabajadoras que
1580 efectúan una misma *tarea visual*?, la verdad es que es posible que la magnitud de la iluminancia
1581 sea diferente de un caso a otro, por lo que se recomienda evaluarla en forma individual y no
1582 generalizando por puesto de trabajo, a menos que el evaluador demuestre que trabajará con la
1583 peor condición, o bien, que las variaciones entre los valores obtenidos en todos los casos, sea
1584 menor a un $\pm 20\%$ del valor promedio general entre éstos. De cualquier forma, todas las
1585 mediciones deberán ser realizadas en las condiciones lumínicas usuales de funcionamiento de
1586 la entidad empleadora, las cuales deberán estar descritas en el informe técnico respectivo
1587 (punto *Condiciones de medición*, del Instructivo del ISP).

1588 NOTA: Los valores finales de iluminancia obtenidos, deberán ser comparados con los
1589 presentados en la tabla del artículo 103 del D.S. N°594/99 del MINSAL dependiendo de la

³⁸ Es posible que para áreas en donde no se realicen “tareas visuales”, pero que de todas formas se necesite evaluar la “iluminación general”, tales como salas de descanso o servicios higiénicos, se requiera contar con una grilla del plano del lugar, tal cual lo indica el punto mencionado.

³⁹ En algunos casos, la existencia de superficies irregulares dificultará la aplicación de esta metodología, pero se deberá optar por la priorización de las mediciones de aquellas zonas que requieran de más luz. Por otra parte, en caso de que el área de la tarea visual sea muy pequeña como para aplicar una grilla, se podrá realizar una medición en su centro.

1590 actividad, lugar o faena seleccionada según tarea visual, homologándose ésta a otra similar, en
1591 caso de no estar explícita en el listado. Al respecto, es importante señalar que los valores
1592 presentados son estándares mínimos, entendiéndose que, si por ejemplo la tarea visual está
1593 asociada a “relojería”, el valor de iluminancia representativo mínimo deberá estar entre 1500 a
1594 2000 lux.

1595 Finalmente, el artículo 103 del D.S. N°594/99 del MINSAL, también señala que cuando se
1596 requiera una iluminación superior a 1000 lux debido a la tarea visual específica realizada, la
1597 iluminación general existente deberá complementarse con iluminación localizada. Al respecto,
1598 es importante señalar que este requisito se orienta más bien al momento del diseño lumínico
1599 de los lugares de trabajo, pero que, en la práctica, muchas veces las condiciones lumínicas y
1600 existentes de aquellos lugares con tareas visuales con requerimientos superiores a 1000 lux
1601 (trabajo prolongado con discriminación de detalles finos y sillas dentales entre otras), están por
1602 debajo de este límite. Al respecto, y para estos casos, el mismo decreto en su artículo 104,
1603 presenta una tabla en donde se aprecia la relación entre la iluminación general y la localizada,
1604 la que, sin embargo, es genérica y difiere de algunos estándares internacionales al respecto,
1605 como la Norma española UNE –EN 12464- 1, entre otras. Considerando lo anterior, en los casos
1606 en que se necesite agregar una iluminación localizada para una tarea en particular, se
1607 recomienda aplicar la expresión dada en el **Instructivo para la Evaluación de Luminancia e**
1608 **Iluminancia en los lugares de trabajo** del ISP.

1609 NOTA: Es importante señalar que cuando la evaluación de la iluminancia arroje un valor final
1610 superior a 1000 lux para una tarea visual, la que por sus características pertenezca al grupo
1611 mencionado, no es obligatorio de parte de la entidad empleadora la instalación de una
1612 iluminación localizada, a menos que ésta ya exista (si éste es el caso, la medición de la
1613 iluminancia deberá ser realizada con ésta en funcionamiento).

1614 **4.5.2 Luminancia.**

1615 Ta cual como se define en el punto 4.2 del presente capítulo, la luminancia es la magnitud,
1616 expresada en cd/m^2 , que describe la cantidad de luz emitida o reflejada por una superficie en
1617 una dirección determinada. Dicho en otras palabras, se puede atribuir al brillo que emite o
1618 refleja una superficie hacia el ojo de la persona trabajadora, siendo un parámetro clave para
1619 garantizar un desempeño visual seguro y eficiente de ésta. Al respecto, su medición no es
1620 opcional⁴⁰ sino que es obligatoria y complementaria a la de iluminancia, la cual debe ser
1621 efectuada a nivel del ojo de la persona trabajadora que ejerce la tarea visual que está bajo
1622 evaluación.

1623 Tal cual lo establecido en el **Instructivo del ISP**, la estimación de la luminancia se debe realizar
1624 con un luminancímetro⁴¹ a nivel de los ojos de la persona trabajadora que realiza la tarea visual,
1625 y sin la presencia de ésta, siendo fundamental la determinación del ángulo de apertura del
1626 equipo, lo cual dependerá exclusivamente del área de influencia de la “tarea visual”, cuyo
1627 tamaño se asocia a la dificultad de ésta (ángulo más pequeño para tareas más dificultosas
1628 visualmente, mientras que para tareas con menor dificultad, se consideran ángulos de apertura
1629 más amplios).

1630 Así, los valores finales de luminancia obtenidos deberán ser comparados con los presentados
1631 en la tabla del artículo 105 del D.S. N°594/99 del MINSAL dependiendo de la clasificación
1632 otorgada por el evaluador a la tarea visual realizada (fácil, ordinaria (normal), difícil, muy difícil

⁴⁰ Salvo las situaciones en donde se realizan evaluaciones de la iluminación general, como pasillos y áreas que no cuentan con tareas con dificultad lumínica, como áreas de descanso entre otras.

⁴¹ Algunos fotómetros presentan la posibilidad de poder ser utilizados como luxómetro y luminancímetro, considerando la adquisición de los accesorios correspondientes.

1633 y demasiado difícil (complicada), respectivamente), la cual debe ser indicada en el informe
 1634 técnico correspondiente. Para tal fin, y de forma de orientar dicha selección, a continuación, se
 1635 presenta una clasificación de diferentes tareas visuales, a modo de orientación:

Categoría de la tarea visual	Ejemplos de tareas visuales
D (fácil)	Manejo de máquinas herramienta pesadas, lavado de automóviles, etc.
E (normal)	Trabajos comerciales, reparación de automóviles, planchado y corte en trabajos de confección, etc.
F (difícil)	Escritura y dibujo con tinta, ajuste en mecánica, selección industrial de alimentos, etc.
G (muy difícil)	Escritura y dibujo con lápiz, costura en actividades de confección, etc.
H (complicada)	Montaje sobre circuitos impresos, trabajos de relojería, igualación de colores, etc.

1636

1637 Finalmente, el artículo 106 del D.S. N°594/99 del MINSAL, señala que, para efectos de mantener
 1638 relaciones adecuadas de luminancia entre la tarea visual y su entorno (evitando de esta forma
 1639 deslumbramientos, contrastes excesivos o adaptaciones visuales constantes que puedan
 1640 generar fatiga ocular, errores en la ejecución de tareas o disminución del rendimiento), se debe
 1641 cumplir la relación entre la magnitud de la luminancia obtenida para el área de influencia de la
 1642 “tarea visual” (asociada al ángulo de apertura del equipo)⁴², y la del “campo visual” circundante
 1643 de la persona trabajadora que ejecuta dicha tarea (alrededores cercanos (5:1) y más lejanos
 1644 (20:1)). Además, este artículo también establece relaciones de luminancia entre las luminarias
 1645 y sus áreas circundantes (40:1), como también para el campo visual completo (80:1), en donde
 1646 se debe obtener la relación entre las luminancias máxima y mínima detectada en éste.

1647 Algunos ejemplos de relaciones máximas de luminancia exigidas por la normativa, junto con su
 1648 descripción operativa y ejemplos aplicados al lugar de trabajo, se presenta a continuación:

Ejemplo de relaciones	Relación a considerar	Resultado Esperado
Área de influencia de la tarea visual (documentos) v/s Alrededores cercanos (escritorio)	5:1	El brillo del documento no debe superar 5 veces al del escritorio.
Área de influencia de la tarea visual (documentos en escritorio) v/s Alrededores lejanos (pared del fondo de la oficina)	20:1	Pared del fondo no debe verse demasiado oscura o brillante respecto al área del escritorio en donde se manejan los documentos.
Luminaria de la oficina v/s cielo raso de ésta	40:1	Evita luminarias muy brillantes sin difusores.
Relación entre el punto de luminancia más brillantes del campo visual completo ($L_{máx}$), y el de menor luminancia ($L_{mín}$)	80:1	Mantener equilibrio general de luminancia en el lugar de trabajo.

1649

1650 4.5.3 Cálculo y aplicación de la normativa para evaluar Iluminación.

⁴² La cual se compara con los límites señalados en el artículo 105 del D.S. N°594/99 del MINSAL

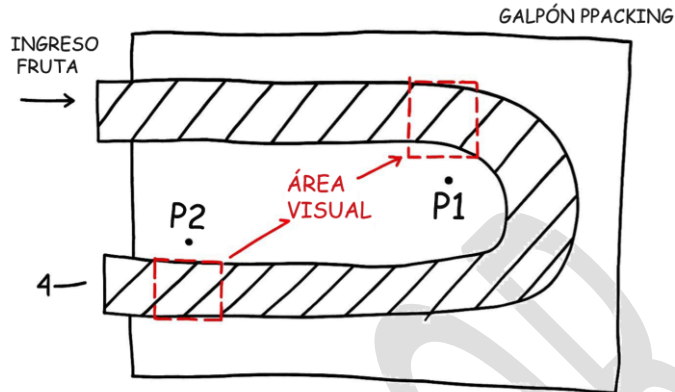


1651 A continuación, se presenta un ejemplo práctico de cálculo y aplicación de la normativa vigente
1652 para la evaluación de iluminancia y luminancia, con el objetivo de mostrar, de manera
1653 ilustrativa, cómo se desarrollan las mediciones en terreno, qué valores pueden obtenerse y
1654 cómo estos se comparan con los requisitos establecidos en el DS 594/99 MINSAL.
1655

BORRADOR

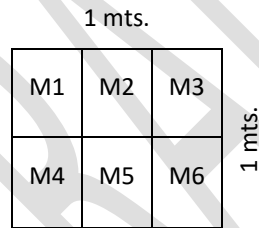
1656 **4.5.3.1 Cuantificación de la Iluminancia.**

1657 Ejemplo: Se necesita obtener los valores iluminancia de los puestos de trabajo P1 y P2 del área
 1658 de selección de frutas en un packing, puestos en donde a través de revisión visual, se retiran
 1659 las frutas que no tengan forma homogénea ni el tamaño adecuado.



1660

1661 Para determinar el valor promedio de iluminancia de los puestos P1 y P2, según lo indicado en
 1662 el Instructivo del ISP respectivo, se debe establecer una grilla para los puntos de medición a
 1663 realizar en cada área visual (zona color rojo esquema) correspondiente a 1m² (1x1) para cada
 1664 caso, determinándose 6 puntos por zona, tal cual lo establece la siguiente figura:



1665

1666 Los valores obtenidos para los planos de cada caso (zonas de P1 y P2 respectivamente)
 1667 obtenidos por un luxómetro, se presentan a continuación, junto con sus valores promedio, los
 1668 cuales representan la iluminancia final del puesto de trabajo y permite verificar su cumplimiento
 1669 con el DS 594/99 MINSAL:

1670

Punto de medición P1	Lux	Punto de medición P2	Lux
M1	1020	M1	760
M2	1040	M2	780
M3	1060	M3	800
M4	1080	M4	820
M5	1040	M5	810
M6	1060	M6	830
Valor Promedio	1050	Valor Promedio	800

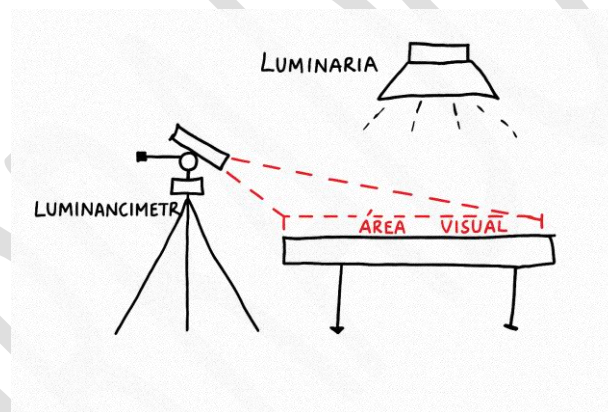
1671

1672 Según los requisitos del DS 594 para tareas de inspección detallada, como ocurre en una línea
1673 de selección de frutos en un packing, se exige un nivel mínimo de iluminancia de 1.000 lux
1674 (revisión prolija) en el plano de trabajo. En este contexto, el Puesto 1 alcanza un promedio de
1675 1.050 lux, por lo que cumple con lo establecido, pero el Puesto 2 presenta un promedio de 800
1676 lux, valor inferior al requerido, por lo que no cumple con el nivel mínimo exigido para este tipo
1677 de actividad.

1678 Al respecto, de forma de dar cumplimiento a la exigencia a nivel del plano de la zona visual de
1679 P2 (1000 lux), son varias las medidas que pueden ser adoptadas para tal fin, tales como bajar la
1680 altura de la luminaria general o bien, mejorar su eficiencia entre otras, sin embargo, es
1681 importante señalar que, según lo establecido en la normativa, se debería complementar la
1682 iluminación general con iluminación localizada, recomendándose que para este caso se aplique
1683 la relación indicada en una de las notas del punto 6.3.1.4 del Instructivo del ISP.

1684 **4.5.3.2 Cuantificación de la Luminancia**

1685 Siguiendo con el mismo ejemplo, se hace necesario entonces cuantificar la luminancia,
1686 orientando el luminancímetro a nivel de los ojos de las personas trabajadoras de ambos puestos
1687 (P1 y P2), en dirección hacia el área en donde se realiza la tarea visual, ajustando el ángulo de
1688 apertura del equipo a éstas, tal cual como lo establece la siguiente figura:



1689 Los valores de luminancia obtenidos para cada caso (P1 y P2 respectivamente), fueron de 21,8
1690 y 20,3 cd/m^2 respectivamente, los que al comparar con lo indicado por el D.S. N°594 en su
1691 artículo 105, estarían dentro del límite considerado, entendiéndose que la actividad de
1692 inspección de frutos, la cual implica identificar defectos, color y textura, se clasifica como tarea
1693 difícil (rango de luminancia permitido es 12,3 a 35,0 cd/m^2).

1695 Para complementar la evaluación de luminancia realizada en la línea de selección del packing, y
1696 específicamente a nivel de P1 y P2, se estimó también la luminancia a nivel del campo
1697 inmediatamente adyacente al área o zona visual en cada puesto, como también a nivel de la
1698 luminaria más cercana para cada caso, junto con la luminancia del área adyacente a cada una
1699 de éstas⁴³, obteniéndose los siguientes valores:

1700

⁴³ A modo de ejemplo, se establecen estas mediciones, pero, en estricto rigor, se deben cuantificar todas las relaciones señaladas en la 2 tabla del punto 4.2 del presente documento.

Relaciones	P1	P2	Relación Estándar DS 594	Cumplimiento
Área tarea visual v/s Alrededores cercanos	21,8/14.9 =1.5*	20.3/8.2 =2.5*	5:1	Si
Luminaria cercana v/s cielo raso de ésta	52.7/1.4 = 37.6*	42.7/1.6 = 26.7*	40:1	NO
* = Aproximando al 1 decimal				

1701

1702 Por lo tanto, si bien las relaciones de luminancia en relación al área o zona visual y su contorno
 1703 inmediatamente adyacente para cada caso cumple con lo indicado en el D.S. N°594, artículo 106,
 1704 ésta no se cumpliría para efectos de la relación entre las luminarias y su entorno adyacente (en
 1705 este caso el cielo raso), por lo que se deben aplicar las medidas correspondientes para dar
 1706 cumplimiento (aplicación de color, reubicaciones, eficiencia luminaria, etc.), de forma de evitar
 1707 deslumbramiento, fatiga visual y alteraciones en la percepción de detalles en la fruta.

1708

1709 4.6 BIBLIOGRAFÍA.

1710 - Asociación Argentina de Luminotecnia. (2001). *Iluminación: Luz, visión, comunicación* (Tomo
 1711 1). AADL.

1712 - Instituto de Salud Pública de Chile. (2021). *Instructivo para la evaluación de luminancia e*
 1713 *iluminancia en los lugares de trabajo* (2ª versión). [https://www.ispch.cl/wp-](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2021/02/Instructivo-Evaluacion-Iluminación-Iluminancia-v2-2021.pdf)
 1714 [content/uploads/2021/02/Instructivo-Evaluacion-Iluminación-Iluminancia-v2-2021.pdf](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2021/02/Instructivo-Evaluacion-Iluminación-Iluminancia-v2-2021.pdf)

1715 - Instituto de Salud Pública de Chile. (2023). *Guía para la evaluación de la iluminancia y*
 1716 *luminancia en pantallas de visualización de datos (PVD) y negatoscopios de uso médico* (2ª
 1717 versión). [https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2024/03/GUIA-PARA-LA-EVALUACION-](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2024/03/GUIA-PARA-LA-EVALUACION-ILUMINANCIA-Y-LUMINANCIA-EN-PVD-v2-2023.pdf)
 1718 [ILUMINANCIA-Y-LUMINANCIA-EN-PVD-v2-2023.pdf](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2024/03/GUIA-PARA-LA-EVALUACION-ILUMINANCIA-Y-LUMINANCIA-EN-PVD-v2-2023.pdf)

1719 - Deutsches Institut für Normung. (2017). *DIN 5032-7: Photometry – Part 7: Classification of*
 1720 *illuminance meters and luminance meters.*

1721 - International Organization for Standardization & Commission Internationale de l'Éclairage.
 1722 (2014). *ISO/CIE 19476: Characterization of the performance of illuminance meters and*
 1723 *luminance meters.*

1724 - Asociación Española de Normalización. (2023). *UNE-EN 12464-1: Iluminación en los lugares*
 1725 *de trabajo. Parte 1: Lugares de trabajo en interiores.* AENOR.

1726 - España. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. (1997). *Guía técnica para la evaluación y*
 1727 *prevención de los riesgos relativos a la utilización de los lugares de trabajo: Real Decreto*
 1728 *486/1997, de 14 de abril.* Boletín Oficial del Estado, N.º 97.

1729

1730 **CAPÍTULO V**

1731 **EVALUACIÓN DE ESTRÉS TÉRMICO EN AMBIENTES LABORALES**

1732

1733

1734 **5.1 FUNDAMENTOS Y PROPÓSITO DE LA EVALUACIÓN**

1735 La exposición ocupacional a condiciones térmicas elevadas representa un riesgo significativo
1736 para la salud de las personas trabajadoras, especialmente en sectores como la minería, la
1737 construcción, la agricultura, el transporte y la industria manufacturera. Este tipo de exposición
1738 puede generar una sobrecarga térmica que compromete tanto el bienestar fisiológico como el
1739 rendimiento laboral, con consecuencias que van desde incomodidad térmica hasta emergencias
1740 médicas graves, como el golpe de calor.

1741 La carga térmica que afecta al organismo puede ser de origen externo o ambiental resultado de
1742 la temperatura, humedad, radiación y velocidad del aire, o de origen interno o metabólico,
1743 derivada del esfuerzo físico realizado. Ambas cargas contribuyen de forma combinada al riesgo
1744 de estrés térmico, que debe ser evaluado con criterios técnicos claros y bajo condiciones
1745 controladas.

1746 En este contexto, se hace necesaria la implementación de metodologías estandarizadas que
1747 permitan identificar, caracterizar y cuantificar los riesgos asociados al calor ambiental en el
1748 trabajo. El presente capítulo tiene como propósito entregar una guía técnica para la evaluación
1749 del estrés térmico, basada en lo establecido en el Decreto Supremo N° 594/1999 del Ministerio
1750 de Salud de Chile.

1751 El enfoque adoptado se orienta a profesionales del área de la higiene ocupacional,
1752 proporcionando las herramientas conceptuales y prácticas necesarias para aplicar de manera
1753 rigurosa los procedimientos de medición, interpretación y documentación de los resultados. Su
1754 aplicación contribuye a fortalecer los programas de vigilancia ambiental, prevenir efectos
1755 adversos sobre la salud y apoyar una toma de decisiones fundamentada en la gestión del riesgo
1756 térmico.

1757

1758 **5.2 CONCEPTOS CLAVE SOBRE EXPOSICIÓN AL CALOR**

1759 Para evaluar correctamente el riesgo por exposición al calor, es fundamental
1760 comprender ciertos términos técnicos que permiten caracterizar las condiciones
1761 ambientales, los efectos fisiológicos en el organismo y las variables que determinan el
1762 nivel de riesgo:

1763 a. **Estrés térmico:** Carga neta de calor a la que se expone una persona trabajadora como
1764 resultado de la combinación entre las condiciones ambientales, la actividad física
1765 realizada y las características de la ropa utilizada.

1766 b. **TGBH (Temperatura de Globo y Bulbo Húmedo):** Índice que permite estimar el riesgo
1767 por exposición a calor, a partir de la combinación de tres mediciones: temperatura de
1768 bulbo seco (TBS), temperatura de bulbo húmedo (TBH) y temperatura de globo (TG). Es
1769 el índice de referencia adoptado por la normativa chilena vigente.

1770 c. **Carga calórica ambiental:** Resultado de la interacción de temperatura, humedad
1771 relativa, velocidad del aire y radiación térmica.

- 1772 d. **Humedad relativa:** Relación entre la cantidad de vapor de agua presente en el aire y la
1773 cantidad máxima que este puede contener a una temperatura dada.
- 1774 e. **Kcal/h:** Unidad utilizada para expresar el costo energético asociado al trabajo físico.
- 1775 f. **Verificación:** Comparación entre lo que indica un instrumento y el valor esperado según
1776 un patrón de referencia.
- 1777 g. **Aclimatación al calor:** Adaptación fisiológica progresiva del organismo ante la
1778 exposición continua al calor. Mejora la capacidad de termorregulación y reduce el riesgo
1779 de efectos adversos.

1780

1781 **5.3 PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DEL ESTRÉS TÉRMICO**

1782 La evaluación del estrés térmico se realiza mediante la medición del índice TGBH, utilizando un
1783 equipo específico que incorpora sensores para registrar parámetros ambientales relevantes. El
1784 procedimiento contempla varias etapas sucesivas, desde la preparación del equipo hasta la
1785 obtención del valor corregido del índice y su comparación con los límites permisibles
1786 establecidos por la normativa.

1787 **5.3.1 Verificación inicial del equipo**

1788 Antes de comenzar cualquier medición, se debe realizar una verificación de los sensores del
1789 monitor térmico:

- 1790 a. Asegurar que las lecturas iniciales de temperatura de bulbo seco (TBS), bulbo húmedo
1791 (TBH) y temperatura de globo (TG) se encuentren dentro de los parámetros normales
1792 especificados por el fabricante.
- 1793 b. Si los sensores no entregan valores consistentes, se debe suspender la medición, enviar
1794 el equipo a mantención técnica autorizada y realizar la calibración correspondiente.

1795

1796 **Figura 5.1: Monitor de estrés térmico**

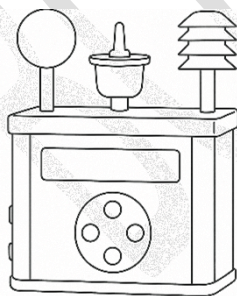
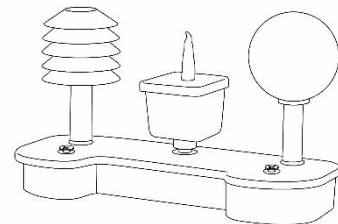


Figura 5.2: Sensores de temperatura



1805 **5.3.2 Estabilización del equipo**

1806 Para garantizar mediciones confiables:

- 1807 a. El sensor de TBH debe estar debidamente humedecido con agua destilada. Se
1808 recomienda esperar entre 20 y 30 minutos para que el sensor alcance estabilidad
1809 térmica en el entorno de medición.

1810

1811

1812

- b. En ambientes donde la temperatura supere los 60 °C, o según indicación del fabricante, se deben emplear cables de extensión para alejar el cuerpo del equipo del foco de calor.

BORRADOR

1813 **5.3.3 Descripción de las actividades evaluadas**

1814 Se debe registrar detalladamente la actividad realizada por las personas trabajadoras durante la
1815 medición:

- 1816 a. Descripción de la tarea, duración, intensidad, frecuencia, condiciones del entorno y uso
1817 de elementos de protección personal.
- 1818 b. Este registro debe ser actualizado regularmente y puede seguir el formato sugerido en
1819 el presente manual.

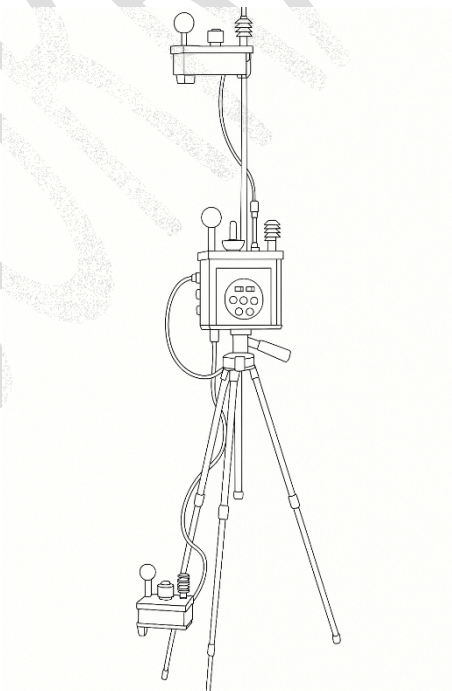
1820 **5.3.4 Ubicación del equipo y validación de homogeneidad térmica**

1821 Para decidir el número y la altura de las mediciones, se debe determinar si el ambiente térmico
1822 es homogéneo:

- 1823 a. Realizar tres mediciones simultáneas a distintas alturas desde el nivel del piso:
- 1824 • **Cabeza**
 - 1825 • **Abdomen**
 - 1826 • **Tobillos**
- 1827 b. Si la diferencia entre las mediciones es inferior al 5%, se puede considerar el ambiente
1828 homogéneo y utilizar una única medición representativa. En trabajadores de pie, se
1829 recomienda medir a 1–1,5 metros; en personas sentadas, a 0,5 metros.
- 1830 c. Si existe una variación superior al 5%, se deberá aplicar el procedimiento de tres
1831 mediciones y calcular un promedio ponderado.

1832 **Figura 5.3: Monitor de estrés térmico para tres mediciones simultáneas**

1833



1834

1835 **5.3.5 Cálculo del índice TGBH**

1836 La fórmula para calcular el índice TGBH varía según el entorno:

1837 ***Al aire libre con carga solar***

1838
$$TGBH = 0,7 \cdot TBH + 0,2 \cdot TG + 0,1 \cdot TBS$$

1839

1840 ***Al aire libre sin carga solar o bajo techo***

1841
$$TGBH = 0,7 \cdot TBH + 0,3 \cdot TG$$

1842 Correspondiendo:

1843 TBH = Temperatura de bulbo húmedo natural, en °C.

1844 TBS = Temperatura de bulbo seco, en °C.

1845 TG = Temperatura de globo, en °C.

1846

1847 Si se realizaron tres mediciones por altura, se debe calcular el promedio ponderado utilizando:

1848

1849
$$TGBH = \frac{TGBH_{cabeza} + 2(TGBH_{abdomen}) + TGBH_{tobillos}}{4}$$

1850

1851 Los límites permisibles del índice TGBH están definidos para el promedio ponderado de sus
1852 valores en el periodo de una hora. Para obtener este promedio de todas las actividades
1853 evaluadas, en relación al tiempo, se debe aplicar la siguiente ecuación:

1854

1855
$$TGBH_{(promedio)} = \frac{(TGBH)_1 \cdot t_1 + (TGBH)_2 \cdot t_2 + \dots + (TGBH)_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

1856 Donde:

1857 TGBH₁, TGBH₂...TGBH_n = Son los diferentes TGBH encontrados en las
1858 distintas áreas de trabajo y descanso en las que la persona trabajadora
1859 permaneció durante la jornada de trabajo.

1860 t₁, t₂..... t_n = Los tiempos en horas de permanencia en las respectivas
1861 áreas evaluadas incluyendo el periodo de descanso.

1862

1863 **5.3.6 Verificación final**

1864 Una vez finalizada la medición:

- 1865
- Se debe repetir la verificación de los sensores del equipo.
 - Si los valores no son consistentes tras tres intentos, se invalida la evaluación y el equipo debe ser enviado a servicio técnico.
- 1866
- 1867

1868 **5.4 FACTORES COMPLEMENTARIOS PARA LA EVALUACIÓN**

1869 **5.4.1 Estimación del costo energético**

1870 El costo energético corresponde a la cantidad de calor (expresada en Kcal/h) que el cuerpo
1871 genera al realizar una determinada actividad física. Para estimarlo, se debe identificar la
1872 actividad realizada y su equivalencia en la tabla del indicada en el Decreto Supremo N° 594.

1873 Ejemplos de costos energéticos:

- 1874 a. Escribir a máquina (sentado): 90–120 Kcal/h
1875 b. Limpiar ventanas: 220 Kcal/h
1876 c. Jardinería: 336 Kcal/h
1877 d. Palear: 468 Kcal/h
1878 e. Trabajo con hachas: 600 Kcal/h

1879

1880 Cuando se realizan múltiples actividades durante una jornada, se debe calcular un promedio
1881 ponderado del costo energético:

1882

1883
$$M_{(promedio)} = \frac{M_1 \cdot t_1 + M_2 \cdot t_2 + \dots + M_n \cdot t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$$

1884

1885 Donde:

1886 M_1, M_2, \dots, M_n = El costo energético de las diversas actividades.

1887 t_1, t_2, \dots, t_n = Periodos de tiempo (horas) para las diversas actividades y descansos
1888 de la persona trabajadora.

1889

1890 **5.4.2 Ajuste por vestimenta (CAV)**

1891 El tipo de ropa utilizada modifica la capacidad del cuerpo para disipar calor. Por ello, es necesario
1892 aplicar un **factor de ajuste de la vestimenta (CAV)** al índice TGBH, especialmente si se usan
1893 prendas impermeables o equipos de protección personal.

1894 El **índice TGBH corregido (TGBH_{eff})** se obtiene sumando el CAV al valor medido:

1895

1896
$$TGBH_{eff} = TGBH + CAV$$

1897

1898 Ejemplos de valores CAV:

- 1899 • Ropa de trabajo estándar (camisa y pantalón de algodón): 0 °C
1900 • Overol de polietileno (tipo Tyvek®): +2 °C
1901 • Doble capa de ropa: +3 °C
1902 • Overol impermeable con capucha: +11 °C

1903



1904 A continuación, se detalle una lista completa de los valores CAV.

1905

BORRADOR

Tabla 5.1. Valores CAV para diferentes conjuntos de ropa, expresadas en °C –TGBH

Conjunto	Observaciones	CAV °C - TGBH
Ropa de trabajo	Ropa de trabajo confeccionada con material tejido. Es la vestimenta de referencia (camisa de manga larga y pantalones).	0
Overoles de trabajo	Confeccionado con tela, material tejido (por ejemplo, algodón).	0
Overol de trabajo confeccionado con material no tejido, tipo SMS, de una sola capa.	SMS: material fabricado mediante un proceso específico que sella (no teje) hilos de polipropileno. Transpirable.	0
Overol de trabajo confeccionado con material no tejido, de poliolefinas, de una sola capa.	Material patentado hecho de polietileno (por ejemplo, Tyvek®).	2
Delantal largo y de manga larga, sobre overol de trabajo, cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua.	Delantal de forma envolvente diseñado para proteger el cuerpo, frente a salpicaduras químicas, por delante y por los lados.	4
Doble capa de ropa.	Generalmente se toma como overoles sobre la ropa de trabajo.	3
Overol cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, sin capucha (una sola capa).	Su efecto depende de la humedad ambiental, pues dificultan la evaporación del sudor. En muchos casos el efecto puede ser menor que el que indica el CAV.	10
Overol cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, con capucha (una sola capa).	Su efecto depende de la humedad ambiental, pues dificultan la evaporación del sudor. En muchos casos el efecto puede ser menor que el que indica el CAV.	11
Overol (sobre la ropa de trabajo) cuyo material de confección presenta resistencia al paso del vapor de agua, sin capucha.		12
Capucha (*)	Usar una capucha de cualquier tejido con cualquier conjunto de ropa.	+1
(*) Valor a añadir al CAV del conjunto sin capucha.		

1908 5.4.3 Comparación con valores límite permisibles

1909 Una vez obtenido el índice $TGBH_{eff}$ y el costo energético ponderado, se debe determinar si la
 1910 exposición se encuentra dentro de los límites aceptables establecidos en el **594/1999**, los cuales
 1911 varían según el tipo de carga de trabajo y la proporción trabajo-descanso por hora.

1912 La comparación entre el $TGBH_{eff}$ calculado y el valor límite correspondiente permitirá determinar
 1913 si la exposición es aceptable o requiere intervención.

1914 En la siguiente figura, se describe en forma resumida el proceso general para la evaluación de
1915 estrés térmico:

1916 **Figura 5.4: Proceso general de evaluación de estrés térmico**



1917
1918

1919 **CAPÍTULO VI.**

1920 **EVALUACIÓN DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN OCUPACIONAL A FRÍO**

1921

1922

1923 **6.1 Fundamentos y Propósito de la Evaluación**

1924 La exposición a ambientes fríos constituye un riesgo para la salud de las personas trabajadoras,
1925 particularmente en labores desarrolladas a la intemperie o en espacios industriales con
1926 temperaturas controladas como cámaras frigoríficas. El frío ambiental puede generar efectos
1927 fisiológicos que van desde el entumecimiento leve hasta condiciones graves como la hipotermia,
1928 congelación y trastornos músculo-esqueléticos. En situaciones extremas, incluso puede
1929 comprometer la vida.

1930 El cuerpo humano requiere mantener su temperatura central en torno a los 37 ± 1 °C para
1931 preservar un funcionamiento fisiológico normal. Cuando la pérdida de calor hacia el ambiente
1932 supera la producción interna del organismo, se activa una respuesta adaptativa que incluye
1933 temblores, vasoconstricción periférica y aumento del metabolismo. Sin embargo, estos
1934 mecanismos tienen límites, y en determinados entornos especialmente donde confluyen bajas
1935 temperaturas con viento, humedad o exposición prolongada la protección natural del cuerpo
1936 puede ser insuficiente.

1937 Este capítulo entrega una guía técnica para la evaluación del riesgo por exposición al frío en
1938 condiciones laborales, particularmente a la intemperie. Se proponen criterios objetivos para
1939 cuantificar la exposición, considerando variables como temperatura ambiente, velocidad del
1940 viento y nivel de protección térmica de la ropa. La metodología está alineada con el marco
1941 normativo vigente en Chile (D.S. N° 594/1999).

1942 El objetivo general es proporcionar a profesionales del área de higiene ocupacional una
1943 herramienta técnica estandarizada que permita prevenir lesiones asociadas al frío, mejorar la
1944 vigilancia ambiental y orientar medidas de control adecuadas para cada situación de exposición.

1945

1946 **6.2 Conceptos Clave sobre Exposición al Frío**

1947 Para evaluar correctamente el riesgo por exposición al frío, es fundamental comprender ciertos
1948 términos técnicos que permiten caracterizar las condiciones ambientales, los efectos fisiológicos
1949 en el organismo y las variables que determinan el nivel de riesgo:

1950 a. **Temperatura ambiental crítica:** Se considera crítica toda temperatura al aire libre igual
1951 o inferior a 10 °C. Esta condición puede agravarse por la presencia de viento o humedad,
1952 incrementando la pérdida de calor corporal.

1953 b. **Termometría:** Técnica de medición de la temperatura del aire mediante termómetros
1954 que registran exclusivamente la temperatura seca, sin considerar humedad o radiación.

1955 c. **Temperatura equivalente de enfriamiento:** Corresponde a la temperatura aparente
1956 que sentiría una persona con piel expuesta, considerando la acción del viento sobre la
1957 temperatura real. Esta variable permite dimensionar el enfriamiento térmico efectivo y
1958 su relación con el riesgo de congelación localizada.

1959 d. **Hipotermia:** Afección provocada por la disminución de la temperatura corporal central
1960 por debajo de 35 °C. Puede desencadenarse por exposición prolongada al frío,

- 1961 especialmente en presencia de viento o humedad. Representa un riesgo vital cuando se
1962 profundiza.
- 1963 e. **Congelación:** Lesión local causada por exposición prolongada a temperaturas bajo 0 °C.
1964 Se manifiesta en extremidades como enrojecimiento, entumecimiento, dolor y, en casos
1965 severos, necrosis tisular.
- 1966 f. **Aclimatación al frío:** Adaptación progresiva del cuerpo humano a entornos fríos. A
1967 diferencia del calor, esta adaptación es limitada y no siempre efectiva para prevenir los
1968 efectos del frío extremo, especialmente si hay humedad o viento.
- 1969 g. **Sensación térmica:** Percepción del frío que experimenta una persona expuesta,
1970 determinada por la combinación entre la temperatura del aire y la velocidad del viento.
1971 Esta sensación puede diferir notablemente de la temperatura real y es un factor clave
1972 para evaluar el riesgo.
- 1973 h. **Índice de enfriamiento por viento (WCI):** Indicador que estima la pérdida de calor por
1974 convección en función de la temperatura y la velocidad del aire. Permite calcular la
1975 temperatura de enfriamiento equivalente y establecer niveles de peligro por exposición.

1976

1977 **6.3 Equipamiento y Condiciones de Medición**

1978 Una evaluación rigurosa del riesgo por exposición a frío requiere contar con equipamiento
1979 específico para medir, de forma precisa y representativa, los factores ambientales clave:
1980 **temperatura del aire y velocidad del viento.**

1981 **6.3.1 Instrumentación requerida**

- 1982 a. **Termómetro ambiental (bulbo seco):** Instrumento que mide la temperatura del aire sin
1983 considerar la humedad ni el movimiento del aire. Es el valor de referencia para
1984 determinar la temperatura ambiente real.
- 1985 b. **Anemómetro de hélice o termo-anemómetro:** Dispositivo destinado a medir la
1986 velocidad del aire. En espacios abiertos, como trabajos a la intemperie, se recomienda
1987 preferentemente el uso de anemómetros de hélice debido a su sensibilidad y precisión
1988 ante turbulencias o variaciones direccionales del flujo de aire.
- 1989 c. **Trípode y sistema de fijación:** Para asegurar una instalación estable y a la altura
1990 representativa del trabajador (habitualmente entre 1,2 m y 1,5 m desde el suelo).
- 1991 d. **Bitácora de registro:** Formulario técnico para documentar la ubicación, fecha, hora,
1992 condiciones meteorológicas generales, observaciones en terreno y lecturas obtenidas.

1993

6.3.2 Consideraciones para la instalación en terreno

- 1994 a. La ubicación de los instrumentos debe ser lo más cercana posible al área de trabajo, sin
1995 interferir con la actividad normal de las personas trabajadoras.
- 1996 b. La medición debe realizarse a una altura representativa del nivel del rostro o torso,
1997 dependiendo de si la tarea se realiza de pie o sentado.
- 1998 c. En caso de labores móviles o en distintas zonas, se recomienda realizar mediciones en
1999 cada punto representativo de exposición.
- 2000 d. Los equipos deben estar operativos durante toda la jornada si se espera que la
2001 temperatura ambiental se mantenga igual o por debajo de 10 °C.

2002

6.3.2 Requisitos operativos



- 2003 a. El instrumental debe contar con **calibración vigente**, conforme a las especificaciones del
2004 fabricante o a los lineamientos de la “Guía para la selección, calibración y mantención
2005 de instrumentos utilizados para evaluar la ventilación en ambientes laborales” del
2006 Instituto de Salud Pública de Chile.
- 2007 b. El termómetro debe tener un rango operativo adecuado para temperaturas desde al
2008 menos -20 °C.
- 2009 c. El anemómetro debe registrar velocidades desde 0,5 km/h, con capacidad para calcular
2010 valores promedio y desviaciones estándar si se requiere evaluación más avanzada.

2011

2012 **6.4 Procedimiento Técnico para la Evaluación del Riesgo por Frío**

2013 La evaluación del riesgo por exposición al frío tiene como finalidad evitar que la temperatura
2014 corporal interna descienda por debajo de los 36 °C, previniendo la aparición de lesiones
2015 generalizadas o localizadas como la hipotermia y la congelación. Este procedimiento se basa en
2016 la combinación de mediciones ambientales objetivas y criterios técnicos de interpretación, en
2017 concordancia con el Decreto Supremo N° 594/1999 y los valores límite de ACGIH.

2018 **6.4.2 Variables clave a medir**

- 2019 • **Temperatura ambiente (Ta):** Se mide con termómetro seco, en grados Celsius (°C).
- 2020 • **Velocidad del viento (v):** Se mide con anemómetro, en km/h o m/s.

2021 Las mediciones deben realizarse de forma representativa durante la jornada laboral, idealmente
2022 en las horas de menor temperatura o mayor exposición. Cuando la temperatura del aire es igual
2023 o inferior a 10 °C, se debe iniciar la evaluación formal. Si el valor desciende bajo -1 °C, las lecturas
2024 deben realizarse al menos cada 4 horas.

2025 **6.4.2.1 Sensación térmica y tabla de peligro.** La **sensación térmica** se refiere a la
2026 temperatura equivalente que una persona siente en la piel expuesta, como
2027 resultado de la combinación entre temperatura y viento. Se utiliza la tabla 6.1
2028 de enfriamiento equivalente (sensación térmica) que clasifica los niveles de
2029 peligro en tres categorías:

Nivel de Peligro	Descripción
Peligro bajo	Riesgo mínimo si la exposición de la piel seca es inferior a una hora.
Aumento del peligro	Riesgo de congelación de partes expuestas en menos de un minuto.
Gran peligro	Congelación de piel expuesta posible en menos de 30 segundos.

2030

2031 Estas categorías se aplican a partes del cuerpo comúnmente expuestas como
2032 rostro y manos. No evalúan el enfriamiento general, que se asume protegido
2033 por vestimenta.

2034

2035 **6.4.2.2 Uso del Índice de Viento Frío (WCI).** Cuando las condiciones de temperatura
2036 y viento no coinciden con los valores tabulados, se recomienda calcular el
2037 **índice de viento frío (WCI):**

2038

2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049

$$WCI = 1,16 \cdot (10,45 + 10 \sqrt{v_{ar} - v_{ar}}) (33 - t_a)$$

$$T_{ch} = 33 - (WCI \div 25,5)$$

Donde:

V_{ar} : velocidad del viento (m/s)

T_a : temperatura del aire (°C)

Este valor representa la pérdida de calor por convección en W/m². A partir del WCI, puede calcularse la **temperatura de enfriamiento aparente (Tch)**, utilizada como indicador complementario de sensación térmica.

2050

6.4.3 Enfriamiento local por convección (t_{wc})

2051

También puede determinarse la **temperatura equivalente de enfriamiento (t_{wc})** mediante:

2052

2053

$$t_{wc} = 13,12 + 0,6215 \cdot T_a - 11,37 \cdot v^{0,16} + 0,3965 \cdot T_a \cdot v^{0,16}$$

2054

Donde:

2055

v = velocidad relativa del aire en m/s

2056

T_a = Temperatura del aire (°C).

2057

2058

Este cálculo describe el efecto refrigerante del viento sobre la piel y ayuda a estimar el riesgo de congelación localizada.

2059

2060

2061

6.4.4 Evaluación del enfriamiento general (método IREQ)

2062

El método IREQ (Insulation Required) permite evaluar el aislamiento térmico requerido por la ropa para evitar el enfriamiento corporal:

2063

2064

- **IREQ mínimo:** Previene el enfriamiento general mediante vasoconstricción.

2065

- **IREQ neutro:** Proporciona confort térmico, evitando tanto enfriamiento como sobrecalentamiento.

2066

2067

2068

Tabla 6.2. Comparando el aislamiento real de la ropa con el valor IREQ se determinan tres escenarios:

2069

Aislamiento térmico de la ropa de trabajo < IREQ _{min}	El conjunto de vestimenta seleccionado no provee un aislamiento adecuado para prevenir el enfriamiento del cuerpo. Con la exposición hay aumento del riesgo de hipotermia.
IREQ _{min} < Aislamiento térmico de la ropa de trabajo < IREQ _{neutro}	El conjunto de vestimenta seleccionado provee suficiente aislamiento. El nivel de esfuerzo fisiológico es aceptable y las condiciones térmicas se perciben como levemente frías o moderadas.
Aislamiento térmico de la ropa de trabajo > IREQ _{neutro}	El conjunto de vestimenta seleccionado provee un aislamiento más suficiente. Demasiado aislamiento puede aumentar el riesgo de sobrecalentamiento, transpiración excesiva y absorción de la

humedad por la vestimenta, y un presumible riesgo de hipotermia progresiva.

2070

2071 **6.5 Consideraciones Finales y Recomendaciones**

2072 La exposición a bajas temperaturas, especialmente en ambientes al aire libre, constituye un
2073 riesgo relevante para la salud laboral, cuya severidad depende de factores ambientales,
2074 organizacionales y personales. La implementación sistemática del procedimiento descrito en
2075 este capítulo permite identificar situaciones de riesgo y definir medidas de control basadas en
2076 evidencia técnica y normativa.

2077 Se recomienda tener en cuenta los siguientes principios al aplicar este protocolo:

2078 a. **Iniciar la evaluación siempre que la temperatura ambiente sea $\leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$,**
2079 **particularmente si hay viento o humedad. Bajo los $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, la vigilancia debe ser más**
2080 **frecuente y detallada.**

2081 b. **Registrar de forma paralela la temperatura y la velocidad del viento,** permitiendo
2082 **determinar la sensación térmica o el índice de enfriamiento equivalente como criterios**
2083 **para tomar decisiones.**

2084 c. **Asegurar que el personal expuesto cuente con ropa de protección térmica adecuada,**
2085 **con aislamiento proporcional a las condiciones ambientales.**

2086 d. **Limitar la duración de las tareas expuestas,** particularmente en situaciones donde la
2087 **temperatura equivalente de enfriamiento se acerque a los niveles de “gran peligro”**
2088 **descritos en este capítulo.**

2089 e. **Garantizar acceso a refugios temporales con calefacción,** especialmente para labores
2090 **prolongadas en exteriores. Se recomienda también disponer de ropa seca de recambio**
2091 **en caso de humedad por lluvia o transpiración.**

2092 f. **Capacitar a las personas trabajadoras y supervisores** en el reconocimiento temprano
2093 **de síntomas de hipotermia o congelación, así como en el uso correcto de la ropa de**
2094 **abrigo.**

2095 g. **Registrar las condiciones de medición, exposición y medidas preventivas,** como parte
2096 **de los programas de vigilancia ambiental y salud ocupacional de la empresa o**
2097 **institución.**

2098

2099 **CAPÍTULO VII**

2100 **RADIACIONES NO IONIZANTES**

2101

2102

2103 **7.1 INTRODUCCIÓN**

2104 A diferencia de las radiaciones ionizantes, las radiaciones electromagnéticas no ionizantes no
2105 son lo suficientemente energéticas para ionizar átomos y moléculas; sin embargo, a través de
2106 otros mecanismos, sus exposiciones pueden generar daño a la salud. Por esta razón, existe la
2107 necesidad de limitar las exposiciones de acuerdo a criterios y límites específicos para los
2108 diferentes tipos de radiaciones no ionizantes.

2109

2110 **7.2 TIPOS DE RADIACIONES NO IONIZANTES**

2111 **7.2.1 MICROONDAS**

2112 Las microondas son las radiaciones electromagnéticas comprendidas entre las frecuencias de
2113 300 kHz a 300 GHz. Estas se pueden encontrar asociadas a aparatos de telecomunicaciones,
2114 hornos industriales e incluso en algunos equipos del medio hospitalario. Sus efectos a la salud
2115 se dividen en efectos térmicos y no térmicos; en general, los límites de exposición se basan en
2116 los térmicos por ser los más conocidos y estudiados.

2117 Las principales magnitudes a tener en cuenta para realizar una evaluación ambiental por
2118 exposición ocupacional a microondas son, la densidad de potencia y el tiempo de exposición,
2119 también la intensidad del campo eléctrico e intensidad del campo magnético.

2120 A continuación, se definen estas magnitudes:

- 2121 - Densidad de potencia (S): Potencia por unidad de área normal a la dirección de
2122 propagación, se mide en [W/m²].
- 2123 - Intensidad de Campo Eléctrico (E): Es la fuerza que actúa sobre una carga en un campo
2124 eléctrico, se mide en [V/m].
- 2125 - Intensidad de Campo Magnético (H): Es la densidad de flujo magnético dividida por la
2126 permeabilidad del medio, se mide en [A/m].

2127 Un aspecto relevante es el que se deriva de considerar la distancia entre la fuente emisora y el
2128 lugar evaluado, ya que la magnitud densidad de potencia sólo tiene sentido físico a distancias
2129 que, en general y como criterio, superan tres longitudes de onda ($3 \times \lambda$) desde su origen, zona a
2130 la que se le denomina Campo Lejano. A su vez, a distancias inferiores, en la zona denominada
2131 Campo Cercano, se debiera evaluar por separado el campo eléctrico y el campo magnético,
2132 comparando sus resultados respectivamente con los valores establecidos. Esto se muestra
2133 gráficamente en la Figura 7.1

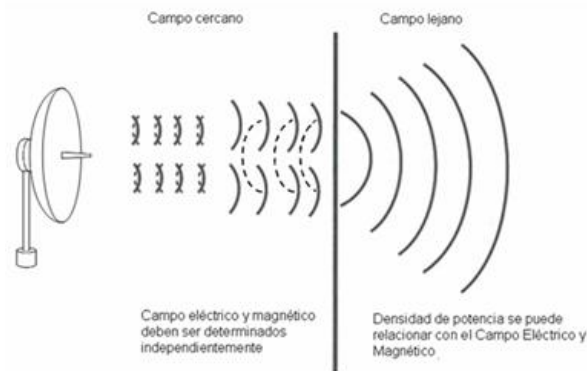


Figura 7.1. Campo Cercano y Campo Lejano.

2134

2135

2136

2137 Frecuentemente, para este tipo de ondas electromagnéticas nos encontraremos en
 2138 conocimiento de las frecuencias de las emisiones del sistema radiante, no teniendo de manera
 2139 directa la longitud de las ondas en cuestión. Para su determinación se puede asumir que, en
 2140 toda onda electromagnética se cumple lo siguiente:

2141

$$c = \nu \times \lambda$$

2142

Dónde:

2143

c: es la velocidad de propagación de la onda, que se puede utilizar que
 para el vacío es 300.000 [km/s].

2144

2145

ν : es la frecuencia de la onda electromagnética medida en [Hz]=[1/s].

2146

λ : es la longitud de la onda electromagnética.

2147

De esta manera, por ejemplo, si se conoce que la frecuencia de las ondas electromagnéticas es
 de 1.800 MHz se tiene que:

2148

2149

$$2150 \quad \lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{300.000 \left[\frac{km}{s} \right]}{1.800 [MHz]} = \frac{300.000 \left[\frac{km}{s} \right]}{1.800.000.000 \left[\frac{1}{s} \right]} = 1,67 \times 10^{-4} [km] = 0,17 [m]$$

2151

2152 De acuerdo con el criterio antes propuesto se podría suponer que a $3 \times 0,17$ metros se encuentra
 2153 el campo lejano de este tipo de emisiones, es decir, desde 0,5 metros y más. Por lo que, en este
 2154 caso, solo a más de 0,5 metros se podrá, a partir de mediciones de intensidades campo eléctrico
 2155 o de campo magnético, determinar la densidad de potencia y se cumplirá, en general, lo
 2156 siguiente:

2157

$$2158 \quad S \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{\left(E \left[\frac{V}{m} \right] \right)^2}{377 [ohm]} = 377 [ohm] \times \left(H \left[\frac{A}{m} \right] \right)^2$$

2159

2160 En estricto rigor la densidad de potencia solo tiene sentido físico a distancias mayores a los 0,5
 2161 metros para este tipo de ondas electromagnéticas.

2162 En general, los detectores tienen la capacidad de medir la intensidad del campo eléctrico o la
2163 intensidad del campo magnético y, a partir de dicha lectura, pueden determinar
2164 matemáticamente la densidad de potencia. Esta situación debe ser ponderada por el evaluador,
2165 en cuanto a la veracidad o aplicabilidad de dicho resultado, considerando la zona en la que se
2166 encuentra realizando la evaluación.

2167 La mayoría de los detectores para medir las intensidades de campo eléctrico o magnético son
2168 de “banda ancha”, es decir, responden a un determinado rango de frecuencias, entregando una
2169 lectura global de todo el rango sensible, sin la posibilidad de discriminar el aporte de las
2170 diferentes frecuencias. De allí que, durante la evaluación es importante que se conozca y se
2171 considere esta condición con vista a evitar aportes de otras fuentes emisoras que puedan estar
2172 en el rango de sensibilidad del detector.

2173 De cualquier manera, en el ámbito laboral, frecuentemente se puede considerar que el mayor
2174 aporte hacia un determinado puesto de trabajo, puede ser efectivamente las que se esperan
2175 evaluar y que pueda ser despreciable, hacia ese puesto, el aporte de otras fuentes de radiación.
2176 En cada caso, se debe considerar la posibilidad de que este no sea un adecuado supuesto para
2177 la situación a evaluar.

2178

2179 También existen otros equipos de medición, que tienen la capacidad de medir selectivamente
2180 cada rango de frecuencia, con los cuáles, el problema anteriormente señalado queda resuelto.

2181 Otro elemento a considerar es la forma de emisión de la radiación electromagnética de la fuente
2182 a evaluar, la cuál puede ser continua o pulsátil, por lo que se deberá tener claro el
2183 comportamiento del detector a utilizar para una adecuada interpretación de las lecturas. En
2184 general, se conoce que las calibraciones de los detectores son para emisiones continuas.

2185



2186

2187

Figura 7.2. Algunos detectores de microondas.

2188

2189 Los detectores de microondas traen una calibración provista por el fabricante la cual tiene una
2190 vigencia especificada por el mismo. Luego, esta calibración deberá ser contrastada en un
2191 laboratorio con trazabilidad a los patrones internacionales reconocidos, con la periodicidad que
2192 se estime necesaria.

2193 Otro aspecto a considerar es que estos detectores realizan muestreos o mediciones con alguna
2194 ventana de tiempo específica. Se debe considerar que en general los límites actualmente
2195 recomendados internacionalmente establecen mediciones promedio en tiempos de 6 minutos
2196 u otros, por lo que será necesario, en cada caso, obtener lecturas promedio en las ventanas de

2197 tiempo correspondientes considerando siempre que dicha ventana se encuentre en la peor
2198 condición de exposición.

2199 Se debe considerar que estos detectores pueden ser sensibilizados por las microondas de los
2200 teléfonos móviles u otros sistemas de comunicaciones con radiofrecuencias, por lo que se
2201 recomienda que los evaluadores no utilicen o apaguen sus equipos para realizar estas
2202 mediciones.

2203 Los resultados obtenidos deben ser comparados con los establecidos en la normativa vigente;
2204 adicionalmente, en los casos en que esto no sea posible, se podrán comparar con
2205 recomendaciones internacionales.

2206

2207 **7.2.2 LÁSER**

2208 Existen límites permisibles para exposiciones oculares directas y para la exposición de la piel.
2209 Para su comparación, según corresponda el tipo de láser y el tiempo de exposición, la magnitud
2210 a determinar es la energía por unidad de área o potencia por unidad de área.

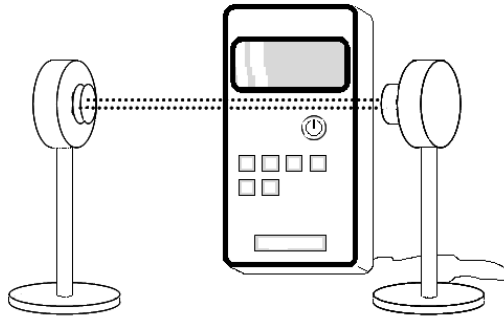
2211 La base de los instrumentos que se utilizan para realizar mediciones de radiaciones láser, está
2212 constituida por detectores sensibles en el espectro del infrarrojo, ultravioleta y visible que
2213 funcionan por efecto térmico o fotoeléctrico. Por lo tanto, para realizar una medición se
2214 requerirá de un radiómetro de banda ancha que pueda detectar la longitud de onda deseada o
2215 de un espectro radiómetro que permita discriminar el aporte de las diferentes longitudes de
2216 onda.

2217

2218 También se debe considerar la posibilidad de que la fuente de láser sea pulsátil, para lo cual se
2219 deberá tener claridad del comportamiento del detector ante tal situación; en este supuesto, se
2220 puede realizar una medición por un tiempo prolongado, muy superior al tiempo de los pulsos,
2221 obteniéndose de esta manera un resultado integrado.

2222 De manera práctica, para realizar evaluaciones de este agente, se deberá considerar las
2223 clasificaciones de los equipos entregadas por el fabricante, los niveles de emisión y las estrictas
2224 condiciones de uso y manipulación.

2225 Con todo lo anterior, es importante considerar que en general las exposiciones a laser no son
2226 frecuentemente abordadas con mediciones de los niveles de exposición, sino que, por la vía de
2227 evitar toda exposición de los ojos y piel al haz directo. Así mismo, por la vía de evitar toda
2228 exposición a reflexiones especulares. Secundariamente, para reflexiones no especulares, luego
2229 de que la radiación interactúe con otras superficies, la exposición de las personas ya no será a
2230 un haz láser, sino que corresponderá a exposiciones a haces incoherentes.



2231

2232

2233

Figura 7.3. Detector de radiación láser.

BORRADOR

2234 Los detectores de radiación láser traen una calibración realizada por el fabricante la cual tiene
2235 una vigencia especificada por el mismo. Por lo tanto, esta calibración deberá posteriormente ser
2236 contrastada en un laboratorio con trazabilidad a patrones internacionales reconocidos. La
2237 periodicidad de estas calibraciones deberá ser de acuerdo a lo especificado en el Manual de
2238 Operación del equipo o, en su defecto, por lo señalado en un programa específico de
2239 mantenimiento preventivo.

2240 Los resultados obtenidos deben ser comparados con los establecidos en la normativa vigente.

2241

2242 **7.2.3 RADIACIÓN ULTRAVIOLETA (UV)**

2243 La radiación ultravioleta comprende las radiaciones electromagnéticas que se encuentran entre
2244 las longitudes de onda de 180 nm a 400 nm, y se clasifican de acuerdo a lo señalado en la Tabla
2245 7.1.

2246

2247

Tabla 7.1. Clasificación de la Radiación Ultravioleta.

Clasificación	Rango de Longitud de Onda
UVA	315 nm a 400 nm
UVB	280 nm a 315 nm
UVC	180 nm a 280 nm

2248

2249 La exposición a radiación ultravioleta está asociada a fuentes artificiales como lámparas, tubos
2250 o procesos de soldadura, también a fuentes naturales como la radiación solar.

2251

2252 **7.2.3.1 Radiación UV Artificial**

2253 Son las exposiciones relacionadas con fuentes artificiales presentes en el ambiente de trabajo,
2254 por ejemplo, lámparas o tubos fluorescentes que emiten radiación ultravioleta. En estos casos
2255 los criterios a considerar para realizar una evaluación del riesgo son, el tiempo de exposición y
2256 la densidad de potencia o irradiancia.

2257 La densidad de potencia o irradiancia se determina en valores absolutos o ponderados de
2258 acuerdo a la curva de eficiencia espectral relativa. Para ello se requiere de radiómetros de banda
2259 ancha provistos con filtros capaces de atenuar o ponderar de acuerdo a la citada curva. También
2260 es posible realizar la medición con espectro radiómetros específicos, los cuales permiten aplicar
2261 matemáticamente las curvas de respuesta, cuando corresponda.

2262 La curva de eficiencia espectral relativa es el conjunto de parámetros que ponderan la cantidad
2263 de energía entregada por la radiación respecto del o los efectos biológicos que se esperan
2264 prevenir o limitar su probabilidad de aparición. Esta curva se encuentra en detalle en el Anexo
2265 B del documento de referencia citado más adelante.

2266 Independiente del detector que se utilice, se deberá realizar un número adecuado de
2267 mediciones que sean representativas, considerando las peores condiciones de exposición o
2268 teniendo en cuenta los valores integrados en periodos largos de exposición.

2269 De acuerdo a lo anterior, se deberá establecer, por una parte, los niveles de exposición a través
2270 de la densidad de potencia absoluta, sin ponderar por la curva de respuesta actínica y, por otra
2271 parte, cuando corresponda, considerar los factores de ponderación de la curva, es decir, se
2272 tendrá en cuenta las densidades de potencia o irradiancias ponderadas efectivas. Ambos valores

2273 deberán ser considerados de manera independiente para determinar si la condición de
2274 exposición resulta aceptable en comparación con los límites establecidos.

2275 Los detectores de radiación ultravioleta tienen una calibración provista por el fabricante, la cual
2276 tiene una vigencia especificada por el mismo. Luego, esta calibración deberá ser contrastada en
2277 un laboratorio con trazabilidad a los patrones internacionales reconocidos, con la periodicidad
2278 que se estime necesaria.

2279 En cumplimiento de las funciones delegadas al Instituto de Salud Pública de Chile se ha
2280 establecido un documento de referencia para realizar evaluaciones de puestos de trabajo
2281 relativos a esta materia, los cuales se pueden encontrar en el siguiente link:
2282 <https://www.ispch.cl/salud-de-los-trabajadores/publicaciones-de-referencia/>

2283

2284 7.2.3.2 Radiación UV Solar

2285 En principio, se estima que cualquier evaluación de riesgo debiera comenzar a partir de conocer
2286 la información del índice ultravioleta global. Considerando su disponibilidad y aplicabilidad al
2287 puesto de trabajo, se deberá determinar si resulta posible y necesario efectuar mediciones
2288 específicas con detectores de radiación ultravioleta adecuados. Dentro de estas posibilidades se
2289 puede encontrar el hecho de que las condiciones ambientales que refleja el índice no se estimen
2290 representativas de la real exposición de los trabajadores.

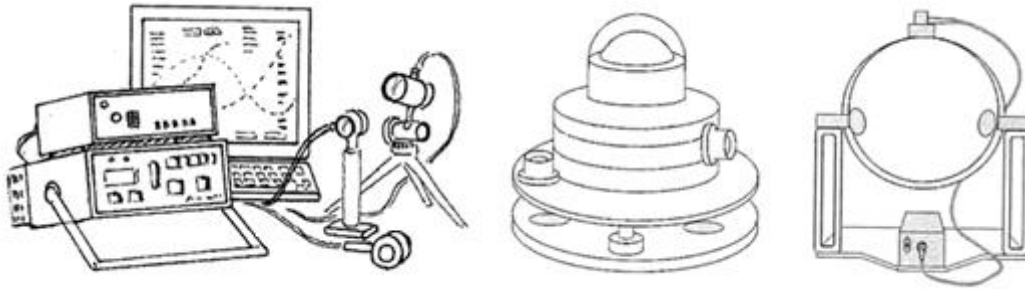
2291 En general, para aquellas situaciones en las que el índice ultravioleta global está disponible y se
2292 estima aplicable a la exposición laboral de interés, la situación podrá no demandar otro tipo de
2293 mediciones y ser resuelta analizando estas intensidades y los tiempos u horarios de exposición
2294 a la radiación ultravioleta solar directa. Aunque en los casos en que se requiera establecer la
2295 utilización de medidas de control, puede resultar complejo, sin otros análisis, determinar la
2296 eficacia y la optimización de las mismas. Para otro tipo de situaciones puede ser necesaria la
2297 realización de evaluaciones que incluyan mediciones con detectores de radiación en el puesto
2298 de trabajo.

2299 En cualquier evaluación de riesgo se deberá considerar, el tiempo de exposición, la intensidad
2300 del agente y también, cuando se estime pertinente, el tipo de piel de las personas trabajadoras
2301 expuestas.

2302 El objetivo de estas mediciones no es conocer el índice ultravioleta global, sino que es, la
2303 obtención de la densidad de potencia o irradiancia. Para esto, se puede utilizar el mismo tipo de
2304 detectores y procedimientos que se usan para las mediciones de radiación ultravioleta artificial,
2305 aunque con una diferencia, para estos casos se debiera apuntar a determinar la densidad de
2306 potencia o irradiancia ponderada. Esta ponderación debiera ser de acuerdo al espectro de acción
2307 de referencia de la Comisión Internacional sobre Iluminación para el eritema inducido por la
2308 radiación ultravioleta en la piel humana (ISO/CIE 17166:2019). Estos resultados debieran ser
2309 comparados con los valores de dosis aceptables que se desprenden de la regulación nacional.

2310 Todos los parámetros ya mencionados, en conjunto, determinarán en cada caso las posibles y
2311 distintas medidas de control a aplicar, ya sean de tipo ingenieril, administrativo o a través del
2312 uso de diferentes tipos de elementos de protección personal, incluyendo en éstos, elementos
2313 físicos tales como el uso de ropas especiales, cremas protectoras, etc.

2314



2315

2316

Figura 7.4. Detectores de Radiación Ultravioleta.

2317

2318 Los detectores de radiación ultravioleta tienen una calibración provista por el fabricante, la cual
2319 tiene una vigencia especificada por el mismo. Luego, esta calibración deberá ser contrastada en
2320 un laboratorio con trazabilidad a los patrones internacionales reconocidos, con la periodicidad
2321 que se estime necesaria.

2322

2323 **7.3 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.**

- 2324 - Exposure to high frequency electromagnetic fields, biological effects and health
2325 consequences (100 kHz-300GHz). ICNIRP, 2009.
- 2326 - Guidelines on exposure to electromagnetic fields from magnetic resonance clinical systems
2327 – Safety code 26. Santé Canada 1987.
- 2328 - ICNIRP statement on protection of workers against ultraviolet radiation.
- 2329 - Radiation protection standard for occupational exposure to ultraviolet radiation (2006).
2330 Radiation protection series N°. 12. ARPANSA.
- 2331 - Índice UV solar mundial, guía práctica, Organización Mundial de la Salud, 2003.

2332

2333



2334

2335

SEGUNDA PARTE
AGENTES QUIMICOS

BORRADOR

2336 **CAPÍTULO VIII**

2337 **MEDICIÓN DE LA CONCENTRACIÓN AMBIENTAL DE CONTAMINANTES**
2338 **QUÍMICOS CON TUBOS COLORIMÉTRICOS**

2339

2340

2341 **8.1 INTRODUCCIÓN**

2342 La atmosfera de la tierra tiene una composición normal de 20,9% de oxígeno, 78,1% nitrógeno
2343 y 1% de otras sustancias. Cualquiera de estas sustancias en una proporción mayor que la normal,
2344 u otra sustancia extraña se designa como “contaminante”. Estos se clasifican en aerosoles
2345 (incluye todo tipo de partícula sólida y/o líquida en suspensión en el aire), gases y vapores.

2346 El ser humano como todo ser viviente necesita el oxígeno para su existencia. Cuando éste
2347 escasea, el individuo tiene problemas. Los primeros síntomas, por falta de entrega de las
2348 cantidades normales de oxígeno a los tejidos, se producen cuando la concentración de éste en
2349 el aire alcanza el 13%. Al llegar al 10%, hay una rápida incapacitación que conduce a la asfixia.
2350 Ahora bien, si el individuo está realizando una actividad física (por ejemplo. En recintos
2351 laborales) necesitará un mayor suministro de oxígeno a su sangre, por lo que, en este caso, el
2352 aire no deberá tener menos de un 18%.

2353 Hay que tener presente que la concentración de contaminantes en el aire puede variar dentro
2354 de amplios márgenes; no obstante, debe tenerse presente que la concentración promedio
2355 ponderada que se supone no va significar riesgo inmediato para la salud del trabajador en un
2356 ambiente de trabajo durante su jornada diaria, es la determinada por el Límite Permissible.
2357 Además, es fundamental considerar la condición IDLH (Inmediatamente Peligrosa para la Vida o
2358 la Salud), que se refiere a la concentración de una sustancia en la atmósfera capaz de
2359 representar una amenaza inmediata para la vida o la salud del trabajador

2360 La determinación de concentraciones de sustancias químicas utilizando tubos calorimétricos
2361 está basado en las reacciones físicas, químicas o físico-químicas de estas sustancias, donde la
2362 reacción involucra una coloración o un cambio de color que, a través de la intensidad, extensión
2363 de la coloración o la gama de colores generadas permite apreciar o medir la concentración de
2364 contaminante en el ambiente laboral.

2365

2366 **8.2 GENERALIDADES**

2367 En ocasiones se necesita una respuesta rápida para tomar medidas inmediatas, razón por lo cual
2368 se ha buscado una serie de técnicas que entreguen esta respuesta con prontitud. Una de ellas
2369 es la medición ambiental con tubos detectores colorimétricos que son operados con una bomba
2370 que puede ser de fuelle o pistón. En el presente Manual se presentará un tipo de bomba de
2371 fuelle.

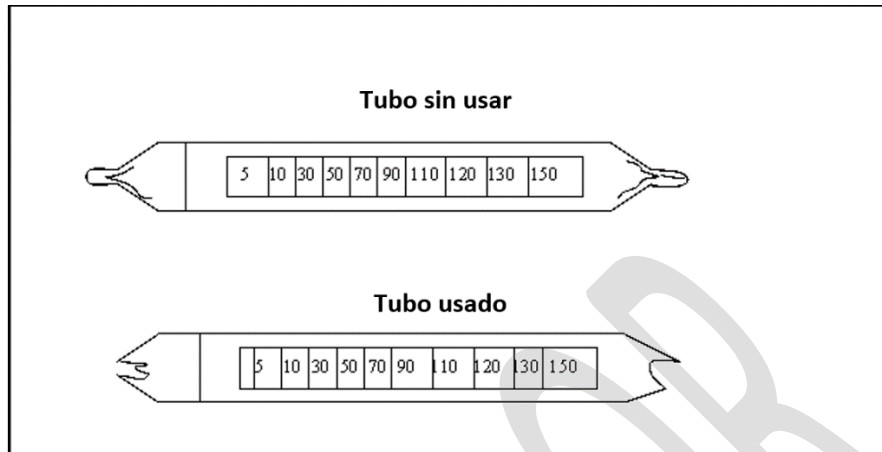
2372

2373 **8.3 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN**

2374 Para determinar el grado de contaminación de un ambiente, se hace pasar una cantidad de aire
2375 a través de un tubo específico a una velocidad determinada, según el tipo de tubo utilizado. Este
2376 proceso permite que el contaminante reaccione con el reactivo contenido en el tubo, generando
2377 una coloración de una longitud específica (que se mide en una escala) o un cambio de color (que
2378 se compara con un patrón de referencia). Para impulsar el aire a través del tubo, se utiliza una

2379 bomba que puede ser accionada de manera mecánica, manual o automática, según las
 2380 necesidades del procedimiento.

2381



2382

2383

Figura 8-1. Tubo Colorimétrico.

2384

2385 8.4 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO Y ACCESORIOS

2386

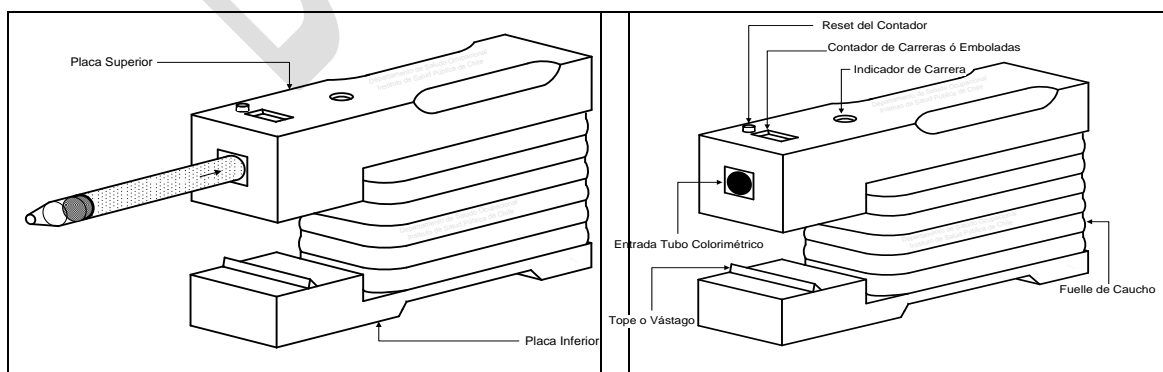
2387 8.4.1 Equipo

2388 El sistema está compuesto por la bomba y el tubo colorimétrico, los cuales funcionan como una
 2389 unidad integral y deben utilizarse siempre de manera conjunta. La precisión de los resultados
 2390 obtenidos depende de varios factores clave: una correcta calibración del sistema (que incluye
 2391 tanto la bomba como el tubo colorimétrico), la estabilidad del reactivo químico empleado, así
 2392 como las condiciones ambientales, específicamente la temperatura y la humedad del aire.

2393 8.4.2 Bomba

2394 La bomba de fuelle tiene un dispositivo mecánico que es un contenedor deformable el cual tiene
 2395 una boquilla de salida. Cuando se comprime la bomba de fuelle, el volumen dentro de esta
 2396 disminuye y el aire sale expulsado del mismo por la boquilla. Al soltar la bomba se expande el
 2397 fuelle, la bomba succiona una cantidad determinada de aire para que pase a través del tubo y
 2398 se produzca la reacción que origina el cambio de color en el reactivo.

2399





2400

2401

Figura 8-2. Equipo y Bomba de Fuelle.

BORRADOR

2402 **8.4.3 Tubo Colorimétrico**

2403 En su gran mayoría son tubos de vidrio de forma cilíndrica con los extremos fundidos, de unos 7
 2404 mm de diámetro externo y unos 120 mm de largo, aunque hay tubos de mayor longitud para
 2405 casos especiales.

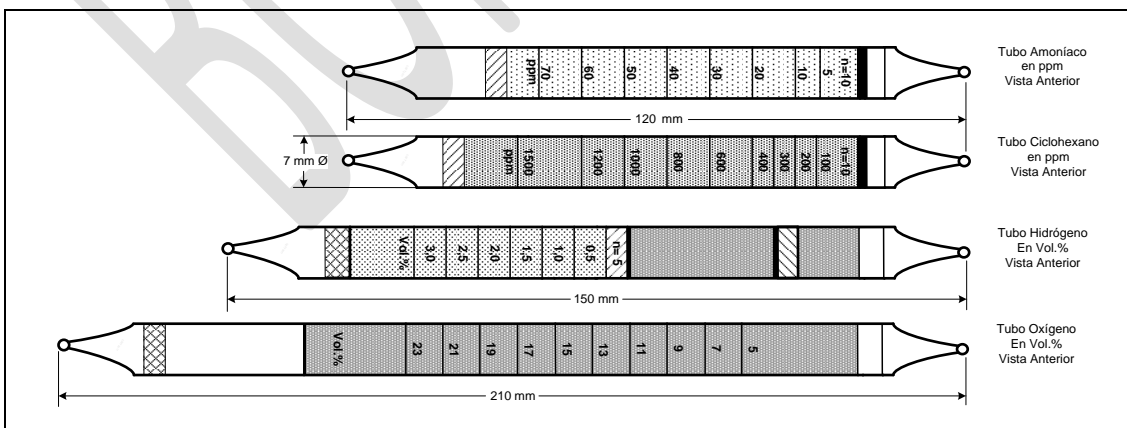
2406 Los tubos colorimétricos contienen en su interior una cantidad determinada de reactivo
 2407 impregnado en un soporte sólido o vehículo granulado. En la gran mayoría de los casos este
 2408 reactivo es bastante específico para la sustancia contaminante a medir. El reactivo impregnado
 2409 cambia de color al reaccionar con la sustancia específica, y la longitud de la coloración, que
 2410 muestra el cambio de color, corresponde a la concentración. Es fundamental verificar la lectura
 2411 del tubo únicamente al concluir la medición. Para ello, se debe observar la longitud total del
 2412 cambio de color, ya sea que este sea uniforme o presente distintas tonalidades. Es crucial seguir
 2413 las indicaciones proporcionadas por el fabricante en el manual de funcionamiento, asegurando
 2414 así la correcta interpretación de los resultados y la precisión del proceso de medición.

2415 En el interior del tubo puede encontrarse una o varias zonas compuestas por material sólido
 2416 granulado u otros reactivos específicos. La selección del tipo de tubo depende de tres factores
 2417 principales: la sustancia que se desea medir, la concentración que se busca determinar y el
 2418 período de tiempo requerido para realizar la medición. Por lo general, estos tubos tienen una
 2419 vida útil de almacenamiento de aproximadamente 2 años, siempre que se mantengan en las
 2420 condiciones señaladas por el fabricante.

2421 Los tubos colorimétricos y la bomba, están diseñados y calibrados como una sola unidad por
 2422 cada fabricante, por lo que se deberá usar la bomba con los tubos recomendados por estos.
 2423 Aunque el volumen pueda ser el mismo, la diferencia en las características físicas de cada
 2424 fabricante, del flujo de la bomba y el tubo, pueden provocar errores de medición considerables.

2425 Estos tubos tienen impresa una escala graduada que permite obtener una lectura directa de la
 2426 concentración y está preparada para dar un resultado en ppm, mg/m³, mg/l ó porcentaje en
 2427 volumen (Vol.%). Además, incluyen impresa la marca del fabricante del tubo, la letra 'n' que
 2428 indica el número de carreras o emboladas, el nombre de la sustancia a medir, el código del tipo
 2429 de tubo y una flecha que señala la dirección del flujo de aire con el contaminante, la cual siempre
 2430 debe orientarse hacia la bomba.

2431



2432

2433

Figura 8-3. Diferentes Tipos de Tubos Colorimétricos.

2434

2435 **8.4.4 Número de Emboladas**

2436 En el tubo colorimétrico se indica la cantidad de emboladas o carreras necesarias, representadas
2437 por la letra 'n', según el volumen de aire requerido para medir la concentración de la sustancia
2438 correspondiente. Estas emboladas deben realizarse con una bomba diseñada específicamente
2439 para este tipo de mediciones. Algunos tubos presentan varias escalas, en las cuales el número
2440 de emboladas se relaciona directamente con los valores indicados, facilitando así una
2441 interpretación precisa de los resultados.

2442 Para los tubos de medición por comparación de color se indica el número de emboladas inferior
2443 y superior necesario para la aparición de un color determinado.

2444

2445 **8.4.5 Condiciones Ambientales de Funcionamiento**

2446 En general, las condiciones estándar de presión y temperatura utilizadas por los fabricantes para
2447 la calibración de los tubos son 20 °C y 1 atm (760 mmHg). No obstante, es fundamental
2448 considerar, al realizar las mediciones, el rango de temperatura y humedad relativa especificado
2449 en el instructivo de cada tubo, ya que estas variables pueden influir en la precisión de los
2450 resultados. Para corregir la influencia de la altura geográfica, el valor obtenido en la medición
2451 debe ser multiplicado por el siguiente factor de corrección:

2452
$$FC_A = \frac{760 \text{ mmHg}}{P_a}$$

2453 Donde:

2454 FC_A : Factor de corrección de la concentración por altura geográfica.

2455 P_a : Presión atmosférica a la altura de la medición en milímetro de mercurio
2456 (mmHg).

2457

2458 **8.4.6 Interferencias**

2459 El fabricante realiza la calibración del sistema (bomba y tubo) para una sustancia determinada
2460 existente en un lugar de trabajo, cuya concentración dependerá de las condiciones ambientales
2461 a las que se realice la medición. En situaciones donde coexistan otras sustancias en el aire,
2462 diferentes a aquellas para las que el tubo colorimétrico fue diseñado, es esencial evaluar cómo
2463 estas pueden afectar la reacción indicadora de la medición. Esto incluye analizar el grado de
2464 interferencia y la posible alteración de los resultados, garantizando así la precisión y
2465 confiabilidad del análisis.

2466

2467 **8.4.7 Aplicación de los Tubos Colorimétricos**

2468 Algunas aplicaciones de este tipo de tubo incluyen la medición de las fluctuaciones puntuales de
2469 la concentración de sustancias químicas presentes en el lugar de trabajo, la estimación del nivel
2470 de contaminantes en el área de respiración del trabajador, la inspección de espacios confinados
2471 antes de ingresar en ellos, los controles periódicos o permanentes de dichos espacios, así como
2472 la detección de fugas en tuberías e identificación de posibles contaminantes. La duración de
2473 estas mediciones varía entre 10 segundos y 15 minutos, dependiendo del tipo de tubo utilizado
2474 y de la bomba de aspiración.

2475 Las mediciones con tubos colorimétricos no son válidas para la verificación de cumplimiento de
 2476 límites permisibles, ya que entregan valores semicuantitativos, los cuales solo representan la
 2477 concentración existente del contaminante medido, durante el periodo de medición.

2478

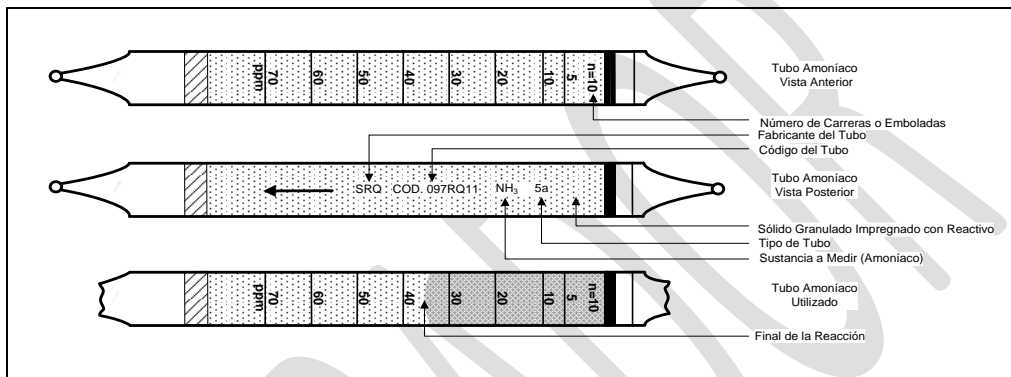
2479 8.5 TIPOS DE TUBOS COLORIMÉTRICOS

2480

2481 8.5.1 Tubos con una Zona Indicadora

2482 Estos tubos están compuestos por una sustancia o reactivo en la zona indicadora que reacciona
 2483 y cambia de color con la presencia de la sustancia a medir, lo que indica la concentración.

2484



2485

2486

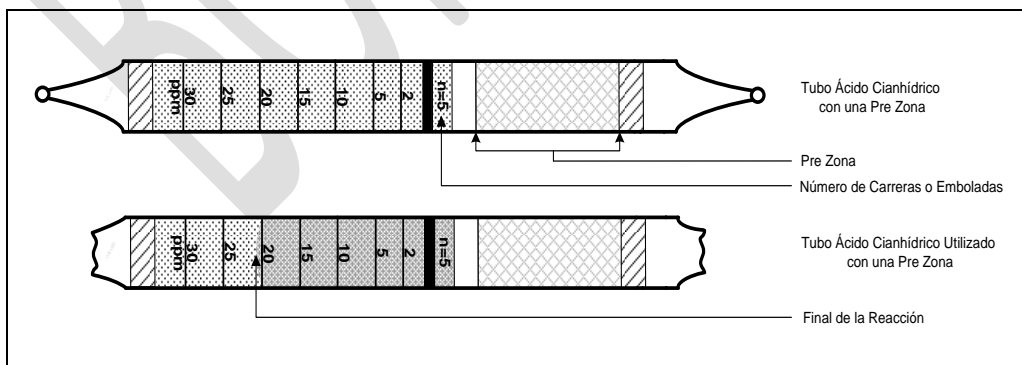
Figura 8-4. Tubos Colorimétricos con una Zona Indicadora.

2487

2488 8.5.2 Tubos con una Zona Indicadora y una o más Pre - Zonas

2489 Estos tubos están compuestos por una zona indicadora y una pre - zona; esta última está ubicada
 2490 antes de la primera zona, en el sentido del ingreso del aire al tubo. El objetivo de la pre - zona
 2491 es retener sustancias que puedan interferir con la reacción principal o transformar el
 2492 contaminante en una sustancia que reaccione en la zona indicadora.

2493



2494

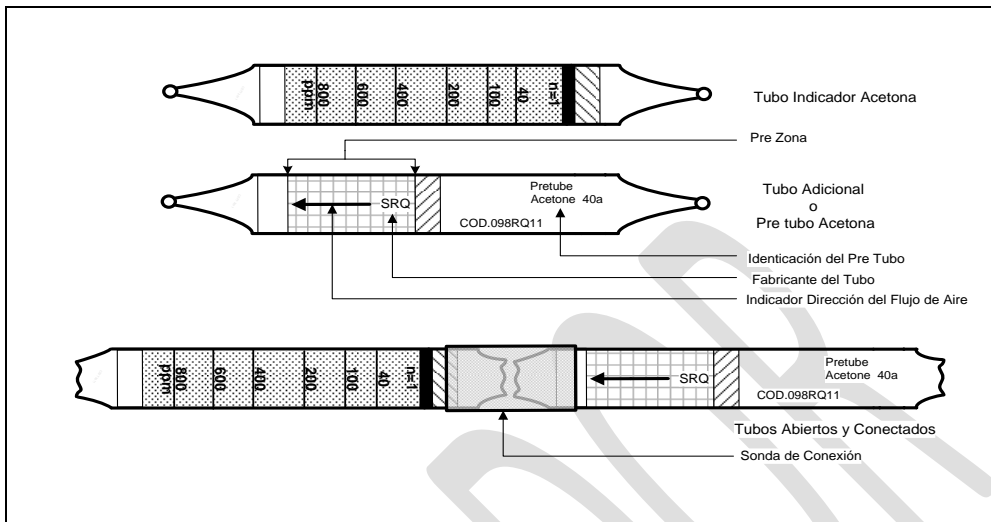
2495

Figura 8-5. Tubos Colorimétricos con una Zona Indicadora y una Pre - Zona.

2496

2497 8.5.3 Tubos con una Sonda de Conexión

2498 Algunos tubos están compuestos por una zona indicadora y, además, con un tubo adicional que
2499 tiene por objetivo realizar la función de una pre - zona. Estos tubos están diseñados para hacer
2500 mediciones en un sitio determinado y durante un espacio de tiempo relativamente corto.
2501 Después de abrir los dos extremos de cada tubo, se conectan con una sonda o banda de goma.



2502

2503

Figura 8-6. Tubo Colorimétrico y Tubo Adicional Unidos con Sonda de Conexión.

2504

2505 Los tubos adicionales tienen impresa la marca del fabricante, el nombre de la sustancia a medir,
2506 el código del tipo de tubo y la flecha que indica la dirección del paso del aire en la medición, la
2507 cual siempre deberá apuntar en dirección de la bomba.

2508

2509

8.6 Verificación

2510 La bomba está diseñada para aspirar un volumen de 100 ml en cada carrera, lo que se debe
2511 verificar periódicamente realizando una verificación. La cual consiste en colocar en la bomba un
2512 tubo usado y este conectarlo a un calibrador tipo burbujómetro a través de una manguera (ver
2513 figura 7.7). Con una solución jabonosa líquida, se hace una burbuja en la base del burbujómetro
2514 y se hace un bombeo para que esta burbuja se desplace. Durante la calibración, esta se debe
2515 desplazar por un volumen equivalente a los 100 ml de la bomba. Esto se verifica midiendo la
2516 altura ascendida y comparándola con una altura de referencia de 100 ml en el tubo graduado.
2517 Se debe efectuar 5 veces el cálculo del volumen y el promedio de estos valores es el volumen
2518 que se considera en la medición de la concentración del contaminante.

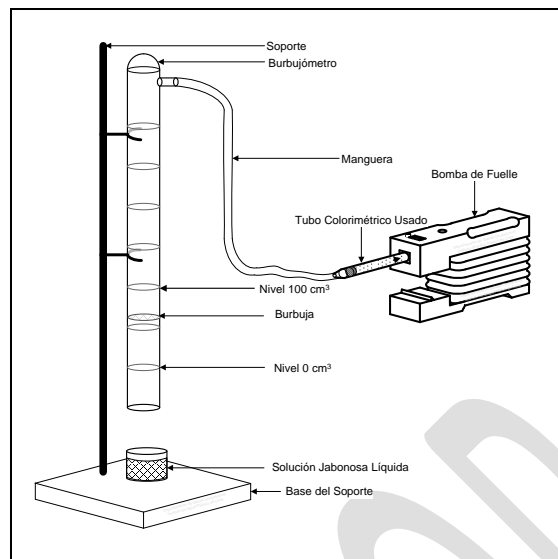


Figura 8-7. Calibración de Bomba de Fuelle con un Burbujómetro.

2519

2520

2521 Nota. Es fundamental seguir el procedimiento indicado por el fabricante en el manual de
2522 funcionamiento, especialmente en lo referente a la inspección para verificar la hermeticidad de
2523 la bomba de muestreo. Este paso es esencial para garantizar la integridad del sistema y la
2524 precisión de las mediciones.

2525

2526 **8.7 OPERACIÓN**

2527 Para la operación del equipo se deben seguir los siguientes puntos:

2528 a. En primer lugar, se deberá leer cuidadosamente el instructivo correspondiente al tipo de
2529 tubo que se va a emplear.

2530 b. Se deberá verificar la hermeticidad de la bomba, para lo cual se comprime el fuelle de la
2531 bomba hasta el tope y se coloca un tubo sin abrir en la entrada de la bomba. A continuación,
2532 se suelta y si el fuelle se mantiene inmóvil por 15 minutos, la hermeticidad es la adecuada
2533 (ver figura 7.8).

2534 c. Se rompen ambas puntas del tubo que se va a usar.

2535 d. Insertar en la entrada de la bomba el tubo colorimétrico a usar. La flecha impresa en el tubo
2536 debe estar orientada hacia la bomba.

2537 e. Tomar la bomba de manera que la placa superior quede sujeta por el pulgar y el nacimiento
2538 del índice (ver figura 7.9).

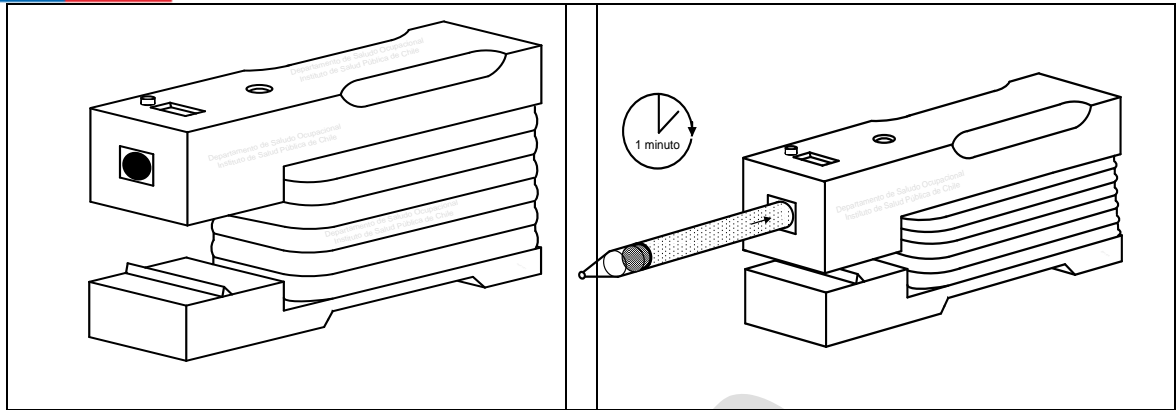
2539 f. Apretar el fuelle hasta el tope, de modo que quede totalmente comprimido (ver figura 7.10).

2540 g. Abrir la mano, dejando que la bomba se expanda sola. La expansión se completa cuando el
2541 indicador de carrera vuelve a estar en su posición (ver figura 7.10).

2542 h. Repetir los bombeos hasta que se complete el número de carreras "n", que aparece en los
2543 tubos y en el instructivo de éstos.

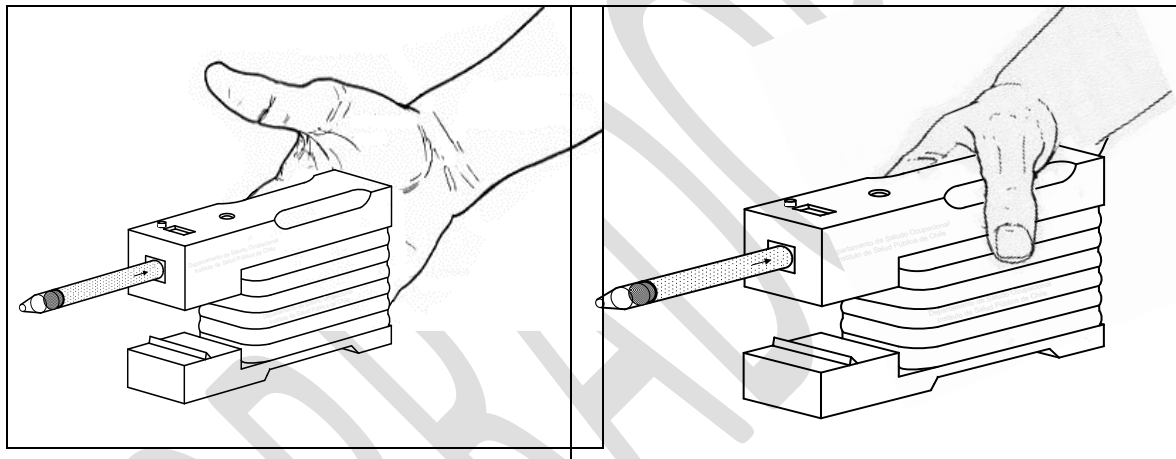
2544 i. Efectuar la lectura del tubo según lo indicado en el instructivo.

2545



2546

Figura 8-8. Prueba de Hermeticidad Bomba de Fuelle-

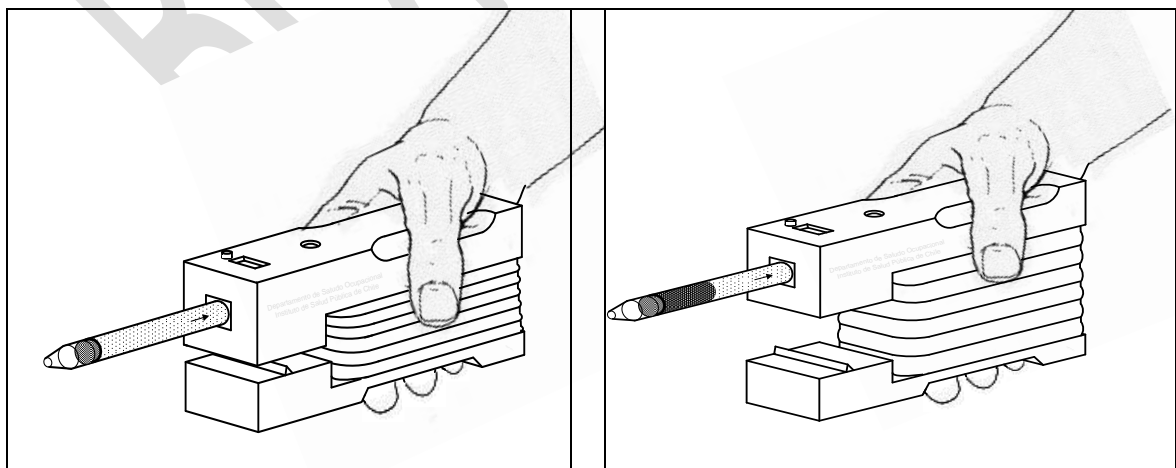


2547

Figura 8-9. Forma de Tomar la Bomba de Fuelle para Hacer la Medición.

2548

2549



2550

Figura 8-10. Forma de Operar la Bomba de Fuelle en una Medición.

2551

2552

2553 **8.8 PRECAUCIONES**

2554 a. Antes de hacer la medición, leer cuidadosamente el instructivo que viene en cada caja
2555 de tubos.

2556 b. En las mediciones utilizar siempre tubos recomendados por el fabricante.

2557 c. Al insertar el tubo en la bomba, deberá quedar bien asentado sin forzarlo más de lo
2558 necesario.

2559 d. Una vez utilizado el instructivo de los tubos, guardarlo en su caja y mantenerlo para
2560 posibles eventualidades.

2561 e. Recordar que los tubos tienen fecha de caducidad, por lo que se deberá mantener un
2562 stock con fecha vigente.

2563 f. Utilizar en las mediciones sólo tubos con fecha vigente, es decir, dentro de su período
2564 de vida útil.

2565 g. Almacenar la caja con los tubos en lugares cuya temperatura sea menor a 25 °C y
2566 protegerlos de la luz.

2567 h. Después de realizar las mediciones, se deberá ventilar la bomba, efectuando al menos
2568 tres bombeos sin colocar un tubo colorimétrico

2569 i. Para evitar la interferencia que pueden producir otros contaminantes en la lectura del
2570 tubo, utilizar el tipo de tubo selectivo para la sustancia a medir.

2571 j. El contenido de los tubos colorimétricos es corrosivo, por lo tanto, evitar el contacto con
2572 ellos y desecharlos de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

2573 k. Los tubos colorimétricos requieren de un rango de temperatura para su operación, lo
2574 que se indica en el instructivo entregado por el fabricante.

2575 l. La cantidad de contaminantes a los que se les puede medir su concentración o detectar
2576 su presencia, utilizando tubos colorimétricos, es limitada. Luego, para aquellos que no
2577 existen tubos deberá buscarse otro método para su medición.

2578

2579 **8.9 RECOMENDACIONES**

2580 a. El valor obtenido en una medición no puede considerarse representativo de la
2581 concentración promedio del contaminante en el lugar de trabajo, ya que esta varía con
2582 el tiempo y según el punto de muestreo. En situaciones de emergencia, la medición solo
2583 reflejará la concentración en ese momento. Si no se trata de una emergencia, la
2584 medición deberá realizarse durante la etapa más crítica de la jornada laboral.

2585 b. Deberá efectuarse una mantención periódica a la bomba según lo recomendado por el
2586 fabricante.

2587 c. En caso de efectuar mediciones en condiciones extremas de temperatura y humedad es
2588 recomendable considerar las especificaciones señaladas por el fabricante en el folleto
2589 informativo.

2590 **CAPITULO IX**

2591 **TOMA DE MUESTRAS DE CONTAMINANTES QUIMICOS AMBIENTALES**
2592 **CON BOMBA DE MUESTREO PORTATIL**

2593

2594

2595 **9.1 INTRODUCCION**

2596 Una de las acciones fundamentales en la práctica de la Higiene Ocupacional es la evaluación de
2597 la concentración de contaminantes en el aire de los ambientes laborales, incluyendo aerosoles
2598 sólidos (polvos, humos), aerosoles líquidos (rocíos, nieblas), gases y vapores. Esta evaluación se
2599 realiza determinando la cantidad de contaminante presente en un volumen conocido de aire.
2600 Para ello, es necesario recolectar muestras que deben ser enviadas a un laboratorio
2601 especializado para su análisis.

2602

2603 **9.2 INSTRUMENTOS**

2604 La recolección de muestras de este tipo se puede efectuar utilizando una diversidad de equipos
2605 o instrumentos de muestreo.

2606 Uno de los instrumentos más versátiles para este fin es la “BOMBA DE MUESTREO PORTATIL”,
2607 accionada por baterías. Hay una gran diversidad de marcas y modelos existentes en el mercado.

2608 Los cabezales de muestreo más comúnmente empleados en el muestreo de contaminantes
2609 ambientales son:

- 2610 a. Filtros de membrana con su portafiltro correspondiente (cassette), utilizados para el
2611 muestreo de aerosoles.
- 2612 b. Impactadores o burbujeadores para la recolección de gases, vapores, nieblas, etc.
- 2613 c. Tubos de vidrio rellenos con una sustancia adsorbente, como carbón activado, sílica gel
2614 u otro material similar, utilizados para la recolección de vapores o gases.

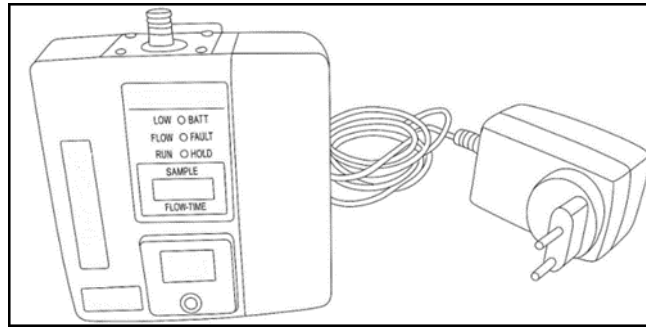
2615 **9.2.1 Bomba de Muestreo y su Cargador**

2616 9.2.1.1 **Bomba.** Las bombas de muestreo portátil deben contar con ciertas características
2617 esenciales para garantizar un muestreo confiable del contaminante a evaluar: flujo
2618 constante, ligereza, facilidad de manejo, bajo nivel de ruido, seguridad intrínseca y
2619 baterías con capacidad suficiente para mantener su funcionamiento durante el tiempo
2620 necesario para la verificación de los límites permisibles

2621

2622

Figura 9-1. Bomba de Muestreo Portátil



2623

2624 9.2.1.2 **Cargador.** El cargador de baterías de la bomba cumple un doble propósito: permite la
2625 recarga de las baterías después de su uso y, en algunos modelos, proporciona una
2626 fuente de alimentación externa para períodos prolongados de operación continua.
2627 Estos cargadores suelen estar diseñados específicamente para las bombas, integrando
2628 sistemas de protección contra sobrecarga, sobredescarga y sobrecalentamiento, así
2629 como indicadores de estado de carga que facilitan su uso seguro. El Manual de
2630 Operaciones de la bomba de muestreo establece tanto el tiempo necesario de carga
2631 como las recomendaciones para mantener el rendimiento y la vida útil de la batería.

2632

2633 9.2.2 Calibración de Bombas de Flujo Constante

2634 Es fundamental conocer el comportamiento del flujo o caudal de una bomba de muestreo
2635 durante su período de operación, de forma de establecer, utilizando los distintos tipos de
2636 cabezales de muestreo, si dicho flujo se mantiene constante.

2637 Una vez completada la carga de la batería de la bomba de flujo constante, proceda de la
2638 siguiente manera:

2639 a. Conectar a la bomba de flujo constante el cabezal de muestreo a emplear, para proceder a
2640 la calibración de este Tren de Muestreo como se indica en Sección 8.8: Calibración de Trenes
2641 de Muestreo. Se debe tener presente el rango de flujo que trabaja la bomba.

2642 **El Tren de Muestreo está compuesto por una bomba de muestreo, una manguera flexible
2643 de conexión y un cabezal de muestreo.**

2644 b. Poner en marcha la bomba utilizando el dispositivo correspondiente. En caso de que el
2645 equipo disponga de un indicador de funcionamiento, consulte el Manual de Operación para
2646 su correcta interpretación. El adecuado arranque y funcionamiento de la bomba también
2647 puede verificarse mediante la estabilización del ruido emitido.

2648 c. Para verificar el flujo de trabajo de la bomba de muestreo, se debe realizar una medición
2649 utilizando un patrón primario, como un medidor de flujo (burbujómetro o flujómetro
2650 digital). En caso de que el flujo obtenido no corresponda al requerido, este podrá ajustarse
2651 mediante el dispositivo de regulación de la bomba.

2652 d. Previo a iniciar la medición del flujo o caudal del Tren de Muestreo, mantener la bomba en
2653 funcionamiento, para que esta se estabilice, entre 5 a 10 minutos, o, en su caso el tiempo
2654 que indique el Manual de Operación.

2655 e. Mantenga en funcionamiento el tren de muestreo, midiendo y registrando el flujo cada 5
2656 minutos durante los primeros 30 minutos. Posteriormente, realice un registro a los 45
2657 minutos y otro a los 60 minutos. Finalmente, continúe registrando cada 30 minutos hasta
2658 completar un total de 8 horas de funcionamiento.

- 2659 f. La variación de flujo entre el caudal inicial y el final no debe superar el 5% del valor inicial.
2660 Si la diferencia es mayor, se recomienda revisar componentes como el filtro externo y
2661 verificar que la batería haya sido cargada completamente. En caso de ser necesario,
2662 recargue la batería hasta su carga total y realice nuevamente la calibración. Si el problema
2663 persiste, el equipo deberá ser enviado al fabricante para su revisión.
- 2664 g. Si durante la calibración se detecta una variación en el ruido de la bomba o algún dispositivo
2665 indica una disminución del flujo, ya sea por agotamiento de la batería o por una obstrucción
2666 en el paso del aire a través del tren de muestreo, se recomienda realizar una revisión
2667 inmediata. En caso de que la obstrucción persista, la bomba se detendrá automáticamente
2668 como medida de seguridad. Algunos modelos incorporan un indicador de error en pantalla
2669 para señalar esta condición (ver Manual de Operación).
- 2670 h. Con la información recogida (valores de flujo o caudal) se construye una curva que será
2671 válida para este tipo de Tren de Muestreo y para ese caudal.

2672 **9.2.2.1 Operación de la Bomba de Muestreo de Flujo Constante**

- 2673 a. Antes de iniciar el muestreo, proceda a calibrar el tren de muestreo en condiciones
2674 similares a las que se utilizarán en terreno y registre el valor de flujo o caudal
2675 obtenido (calibración inicial).

2676 **El cabezal de muestreo utilizado tanto en la calibración inicial como en la**
2677 **calibración final solo deberá utilizarse para estos efectos.**

2678 **El Caudal Inicial y el Caudal Final no deberán tener una desviación mayor al 4%**
2679 **(rango de aceptación) respecto del caudal establecido en la metodología de**
2680 **muestreo**

- 2681 b. Proceda al muestreo de acuerdo con el tipo de contaminantes a evaluar, siguiendo
2682 lo indicado en la Sección 8.12: Muestréos Específicos, y registre la hora exacta de
2683 inicio (hora y minuto). Durante el muestreo, supervise el funcionamiento de la
2684 bomba, prestando atención al ruido, a los indicadores del equipo y a posibles
2685 obstrucciones en el tren de muestreo.

- 2686 c. Al finalizar el período de muestreo programado, realice una nueva calibración
2687 (calibración final) utilizando el mismo tren de muestreo empleado en la calibración
2688 inicial. La variación entre ambas calibraciones no debe superar el 5%.

2689 **NOTA:** Si durante el muestreo ocurre una interrupción, registre la hora exacta (hora
2690 y minuto) y detenga la bomba. Revise el tren de muestreo para identificar la causa
2691 del problema. En caso de que el tiempo de muestreo no haya alcanzado un período
2692 mínimo representativo, deberá repetirse la medición.

2693

2694 **9.3 PÉRDIDA DE CARGA DE CABEZALES DE MUESTREO**

2695 Cada cabezal de muestreo presenta una resistencia o pérdida de carga propia, lo que hace que
2696 la bomba de caudal constante se comporte de manera diferente con cada uno de ellos al
2697 mantener un mismo caudal. Por esta razón, el tren de muestreo debe calibrarse siempre
2698 utilizando un cabezal proveniente del mismo lote que se empleará en la medición.

2699 En este contexto, se debe considerar que el único caudal válido es aquel registrado por el
2700 calibrador, ya que representa el flujo “real” efectivo del sistema de muestreo, tomando en
2701 cuenta las pérdidas de carga generadas por los distintos componentes del tren de muestreo.

2702

2703 **9.4 MANTENCIÓN**

2704 Bajo condiciones de uso normal la Bomba de Muestreo requiere muy poca mantención:

- 2705 a. Mantener siempre la bomba y el cargador limpios y secos.
- 2706 b. Si no se está usando, mantener la bomba y el cargador guardados.
- 2707 c. Aun cuando no se emplee la bomba con frecuencia, se deben cargar y descargar las
2708 baterías con cierta periodicidad para evitar su agotamiento.
- 2709 d. Conviene sacar periódicamente los vástagos de las válvulas y soplarlos para evitar que
2710 se acumulen partículas de polvo.
- 2711 e. Es necesario mantener un programa de mantenimiento preventivo conforme a las
2712 recomendaciones del fabricante, así como realizar calibraciones anuales en el servicio
2713 técnico autorizado, debiendo respaldarse todo lo anterior con los certificados
2714 correspondientes.

2715

2716 **9.5 INSTRUCCIONES PARA EL MONTAJE Y USO DEL PORTAFILTRO PARA FILTROS DE** 2717 **MENBRANA**

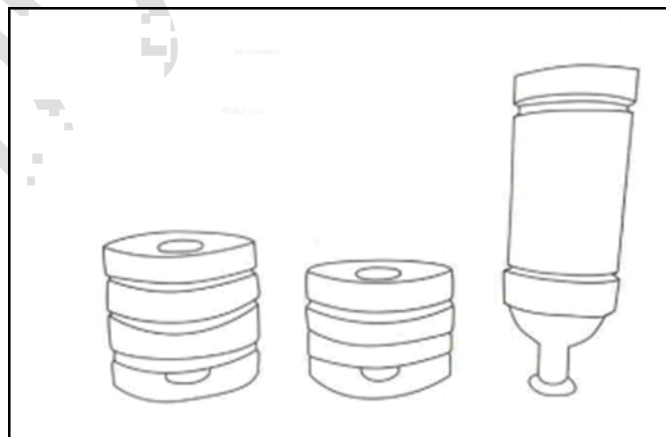
2718 **9.5.1 Generalidades**

2719 Este dispositivo se emplea para una gran variedad de muestreos, por ejemplo:

- 2720 a. Muestreo de polvos minerales (polvo total, fracción inhalable o fracción respirable, sílice
2721 fracción respirable).
- 2722 b. Muestreo de humos o polvos metálicos (plomo, arsénico, manganeso, cinc, etc.).
- 2723 c. Muestreo de fibras de asbestos.
- 2724 d. Muestreo de polvos orgánicos (madera, cáñamo, polvo de molienda de granos, etc.).

2725 El portafiltro para filtro de membrana es un dispositivo de material plástico que puede estar
2726 constituido por dos o tres secciones que van embutida entre sí a presión (Figura 9-2).

2727



2728

2729

Figura 9-2. Portafiltros de Tres y Dos Secciones y Capucha Antiestática para Filtro Membrana.

2730

2731 El filtro de membrana se instala entre estas secciones, tal como se indica más adelante. Los
 2732 filtros de membrana más utilizados están fabricados en PVC (cloruro de polivinilo) o en ésteres
 2733 de celulosa. El tamaño de poro del filtro debe seleccionarse de acuerdo con el tipo de muestreo,
 2734 lo que se especificará en su momento.

2735

2736 **9.5.2 Montaje del Filtro de Membrana en un Portafiltro de Dos Secciones (Ver Figura 9-3).**

- 2737 a. Colocar un tapón azul en el orificio de la sección macho (entrada) del portafiltro.
 2738 b. Colocar un tapón rojo en el orificio de la sección hembra (salida) del portafiltro (la
 2739 sección con estrías).
- 2740 c. Colocar un soporte de filtro (rejilla metálica perforada o almohadilla de fibras) en la
 2741 sección hembra del portafiltro.
- 2742 d. Sacar un filtro de la caja de filtros y colocarlo encima de la rejilla metálica o
 2743 almohadilla de fibras.

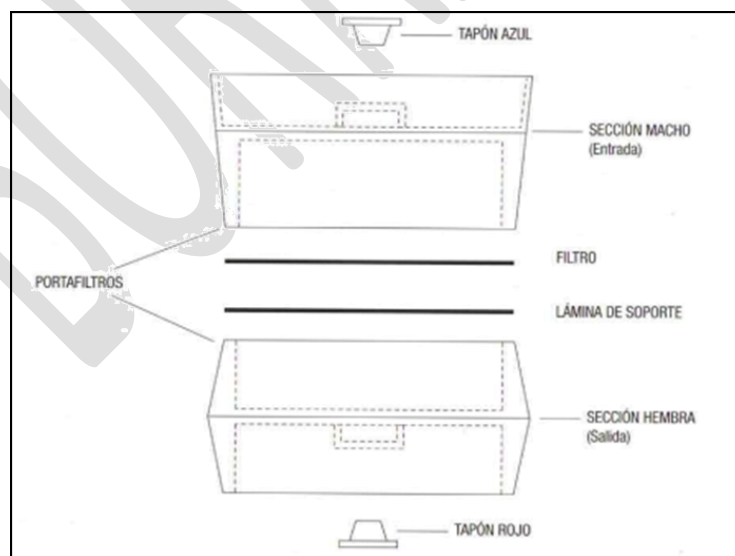
2744 **NOTA.** Manipular siempre los filtros con una pinza especial, de mandíbulas lisas, y
 2745 tomando el filtro solamente de los bordes. No tocar el filtro con los dedos

- 2746 e. Colocar inmediatamente la sección macho del portafiltro dentro de la sección
 2747 hembra del mismo presionándolo para que haga un contacto uniforme a lo largo
 2748 de todo el borde del filtro. Como medida de precaución, colocar alrededor de la
 2749 unión de las secciones macho y hembra una huincha de papel engomado
 2750 autoadhesivo.

2751 **NOTA.** Esta operación es muy importante y deberá efectuarse rigurosamente

- 2752 f. Poner un trozo de papel engomado autoadhesivo en la parte superior de la sección
 2753 macho del portafiltro y numérelo para la identificación de la muestra.

2754



2755

2756

Figura 9-3. Portafiltro de Dos Secciones.

2757

2758 **9.5.2.1 Instalación del Portafiltro de Dos Secciones en la Bomba de Muestreo**

- 2759 a. Conectar un extremo de la manguera de muestreo al acople de entrada de la Bomba.
2760 b. Sacar el tapón rojo del orificio de salida del portafiltro (con el filtro ya montado).
2761 Conectar este orificio del portafiltro con el otro extremo de la manguera de muestreo.
2762 Guardar el tapón rojo que se usará posteriormente

2763 **NOTA:** En un muestreo de ambiente, ya sea local o general, la manguera de
2764 muestreo debe ser un tramo de manguera plástica lo más corto posible,
2765 procurando que el filtro no quede orientado con la cara superior hacia arriba (ver
2766 Figura 9-11).

2767 En el caso de un muestreo personal, la manguera de conexión será un tramo más
2768 largo, que se extiende desde la bomba, instalada en el cinturón del trabajador,
2769 hasta la solapa o el bolsillo, en las proximidades de la zona respiratoria. En dicho
2770 lugar se ubicará el portafiltro, en la misma posición indicada en la Figura 9-11 o
2771 con la cara superior orientada hacia abajo

2772 La bomba de muestreo, junto con la manguera de conexión y el portafiltro que contiene
2773 el filtro correspondiente, conforman el Tren de Muestreo. Una vez instalados, el sistema
2774 queda listo para su utilización en la toma de muestras. Previamente, debe haberse
2775 realizado la calibración del Tren de Muestreo (ver 9.8).

2776

2777 9.5.2.2 Instalación y Operación del Tren de Muestreo

- 2778 a. Ubicar el Tren de Muestreo en el lugar que corresponda, según se trate de “muestreo
2779 de ambiente” o de “muestreo personal”. Si el muestreo es de tipo personal el cabezal
2780 de muestreo deberá fijarse lo más cercano posible a la zona respiratoria del trabajador;
2781 si es de tipo ambiental el cabezal deberá ubicarse a una altura equivalente a la zona
2782 respiratoria de los trabajadores.

2783 **Zona respiratoria del trabajador:** semiesfera de 0,3 m de radio que se extiende por
2784 delante de la cara del trabajador, cuyo centro se localiza en el punto medio del
2785 segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano que
2786 contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe. UNE-EN 1540:2022.
2787 Exposición en el lugar de trabajo. Terminología

- 2788 b. Sacar el tapón azul del orificio de entrada de la muestra al portafiltro (cassette) y
2789 guardarlo ya que deberá reinstalarse una vez concluido el muestreo.

2790 c. Hacer funcionar la Bomba de Muestreo.

2791 d. En forma inmediata anotar la hora (hora y minuto) de comienzo del muestreo.

2792 e. Si se detecta que la bomba funciona de manera anómala o emite ruidos inusuales, se
2793 debe detener el muestreo de inmediato y registrar la hora exacta (hora y minuto).

2794 f. Al término del muestreo detener la Bomba.

2795 g. Anotar la hora de término del muestreo (hora y minuto).

2796 h. Colocar el tapón azul en el orificio de entrada de la muestra al cassette.}

2797 i. Sacar con cuidado el portafiltro de la manguera de muestreo.

2798 j. Colocar el tapón rojo en el orificio de salida (zona estriada) del cassette (el que estaba
2799 conectado a la manguera).

2800 **NOTA:** Junto a todas las muestras que envíe el Laboratorio adjunte un portafiltro con
 2801 filtro instalado, similar al utilizado en el muestreo, identificado como testigo, el cual ha
 2802 sido sometido a todas las manipulaciones de montaje y desmontaje, antes de iniciar el
 2803 muestreo, pero sin poner en funcionamiento la Bomba de Muestreo

2804 **9.5.3 Montaje del Filtro de Membrana en un Portafiltro de Tres Secciones. (Ver Figura 9.4)**

- 2805 a. Colocar un tapón azul en el orificio de la sección macho (entrada) del portafiltro
- 2806 b. Colocar un tapón rojo en el orificio de la sección hembra (salida) del portafiltro (la
 2807 sección con estrías).
- 2808 c. Colocar un soporte de filtro (rejilla metálica o almohadilla de fibras) en la sección
 2809 hembra del portafiltro.
- 2810 d. Sacar un filtro de la caja de filtros y colocarlo encima de la rejilla metálica o almohadilla
 2811 de fibras.

2812 **Nota:** Manipular siempre los filtros con una pinza especial, de mandíbulas lisas,
 2813 tomando el filtro de los bordes. No tocar el filtro con los dedos.

- 2814 e. Colocar de inmediato la sección anular dentro de la sección hembra del portafiltro
 2815 presionándolo para que haga un contacto uniforme a lo largo de todo el borde del filtro.
- 2816 f. Colocar enseguida la sección macho (superior) dentro de la sección anular,
 2817 presionándola para que ajuste bien y se logre un cierre hermético de todo el portafiltro.

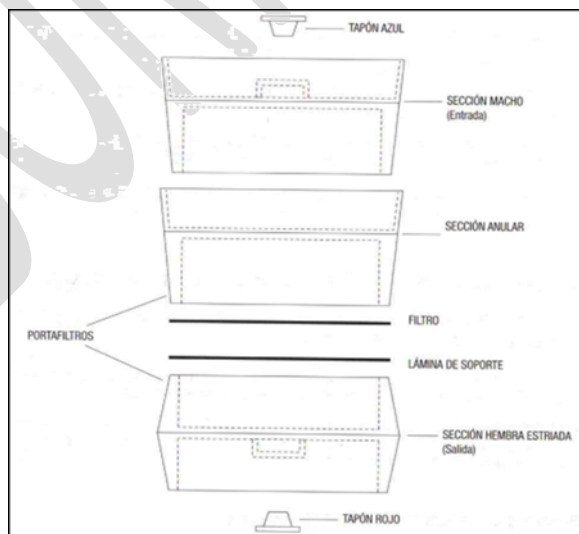
2818 **NOTA:** Los puntos “e” y “f” son muy importante y deberán efectuarse rigurosamente,
 2819 sellando, como medida de precaución, ambas uniones de las secciones con una huincha
 2820 de papel engomado autoadhesivo

- 2821 g. Poner un trozo de papel engomado (autoadhesivo) en la parte superior de la sección
 2822 macho del portafiltro y numerarlo para la identificación de la muestra.

2823

2824

Figura 9-4. Portafiltros de Tres Secciones



2825

2826

2827 **9.5.3.1 Instalación del Portafiltro de Tres Secciones en la Bomba de Muestreo**

- 2828 a. Sacar el tapón rojo del orificio de salida del portafiltro (sección hembra) y guardarlo
2829 porque deberá reinstalarse después de concluido el muestreo.
- 2830 b. Conectar el portafiltro (por el orificio de salida: zona estriada) al extremo libre de
2831 la manguera de muestreo. (El otro extremo ya está conectado al fitting de entrada
2832 de la bomba).
- 2833 **NOTA:** La bomba de muestreo más la manguera de muestreo y el portafiltro,
2834 instalado como se ha indicado, constituyen en el Tren de Muestreos y está listo
2835 para ser usado. (Previamente debió efectuarse la Calibración del Tren de
2836 Muestreo. Para ello véase Sección 8.8: “Calibración de Trenes de Muestreo”).

2837

2838 **9.5.3.2 Instalación y Operación del Tren de Muestreo**

- 2839 a. Ubicar el Tren de Muestreo en el lugar que corresponda, según se trate de
2840 “muestreo del ambiente de trabajo” o “muestreo personal”.
- 2841 b. Sacar el tapón azul del orificio de entrada de la muestra al portafiltro (cara superior,
2842 lisa, del cassette).
- 2843 c. Hacer funcionar la Bomba de Muestreo.
- 2844 d. De forma inmediata anotar la hora (hora y minutos) de comienzo del muestreo.
- 2845 e. Si se detecta que la bomba funciona de manera inusual o emite ruidos anómalos, se
2846 debe detener el muestreo de inmediato y registrar la hora exacta (hora y minuto).
- 2847 f. Al término del muestreo detener la Bomba.
- 2848 g. Anotar la hora de término del muestreo (hora y minutos)
- 2849 h. Colocar inmediatamente el tapón azul en el orificio de entrada del portafiltro (cara
2850 lisa).
- 2851 i. Desconectar, con cuidado, el portafiltro de la manguera de muestreo.
- 2852 j. Colocar inmediatamente el tapón rojo en el orificio de salida (zona estriada) del
2853 portafiltro.
- 2854 k. Ver NOTA 9.5.2.2., letra j.

2855

2856 **9.6 INSTRUCCIONES PARA EL MONTAJE Y USO DEL IMPACTADOR (MIDGET IMPINGER)**

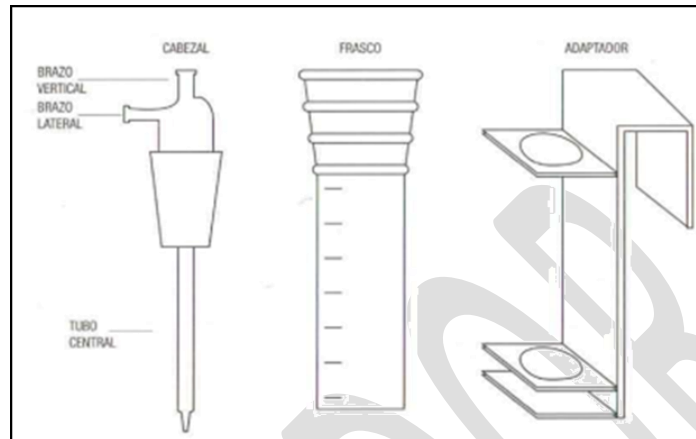
2857 **9.6.1 Generalidades**

2858 El impactador pequeño (midget impinger) es un accesorio que se emplea para la
2859 recolección de gases, vapores, algunos polvos y aerosoles líquidos. Es un dispositivo de
2860 vidrio que consta de 2 partes (Figura 9-5):

- 2861 a. Un frasco cilíndrico, graduado, en el cual se coloca un líquido o solución de
2862 muestreo.
- 2863 b. Un cabezal con tapa esmerilada que posee un tubo central terminado en una punta
2864 con un orificio pequeño a través del cual penetra el aire que se muestrea y un tubo
2865 lateral, de salida, que se conecta a la Bomba de Muestreo. Este cabezal se instala en
2866 el frasco, quedando la punta del tubo central sumergida en el líquido y muy cerca
2867 del fondo del frasco.

2868 La impactación y el burbujeo consiguiente permiten que los contaminantes que se desea
2869 recolectar queden retenidos en la solución, ya sea por acción mecánica (impactación),
2870 en el caso de los polvos; o por solubilización, en el caso de algunos gases y vapores; o
2871 por reacción química con la solución en otros casos.

2872



2873

2874

Figura 9-5. Partes de un Impactador (Midget Impinger).

2875

2876

9.6.2 Montaje del Impactador Pequeño y Muestreo de Contaminantes

2877

2878

2879

2880

2881

2882

2883

a. Instalar un adaptador para Impactadores en el dispositivo para cinturón de la Bomba de Muestreo o un adaptador separado de la bomba, si es un muestro de tipo ambiental. Si se requiere tomar una muestra de tipo personal y el trabajo que desarrolla un trabajador lo permite, prepare un adaptador de cuero para colocarlo en la solapa o cuello de la indumentaria del trabajador; si esto último no es posible, colocar el tren de muestreo, para toma de muestra ambiental, lo más cercano posible a la zona respiratoria del trabajador.

2884

2885

b. Colocar dos Impactadores en serie en el adaptador con la cantidad requerida de solución de muestreo, según lo indique la técnica a emplear. Identificar cada uno de ellos.

2886

2887

2888

2889

c. Sacar la tapa de goma o papel parafilm del brazo lateral del cabezal del "Impactador A" manteniendo tapado su brazo vertical (por donde ingresa el contaminante) y conectarlo al extremo libre del trozo de manguera conectado al brazo vertical del "Impactador B" (el más cercano a la Bomba).

2890

2891

2892

2893

d. Sacar la tapa de goma o papel parafilm del brazo lateral del cabezal del "Impactador B" y conectarlo al extremo libre del trozo de manguera conectado a la Trampa. Esta, a su vez, está conectada por otro trozo de manguera al fitting de entrada para la muestra de la bomba (Ver Figura 9-6). Guarde las tapas para reinstalarlas posteriormente.

2894

2895

e. Sacar el tapón de goma del brazo vertical del cabezal del Impactador A.

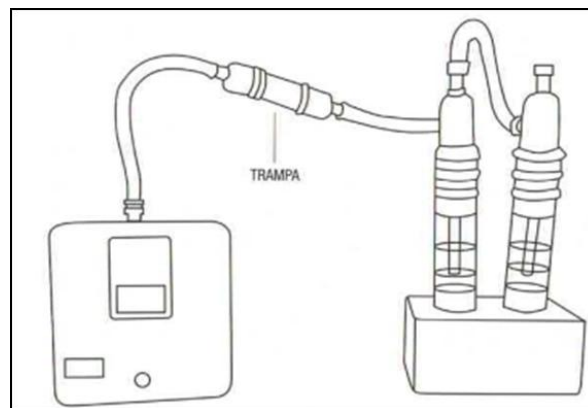


Figura 9-6. Montaje de Impactadores o Midget Impinger.

2896

2897

2898

2899

2900

2901

2902

2903

2904

f. Hacer funcionar la Bomba de Muestreo.

2905

g. Anotar de inmediato la hora (hora y minutos) de comienzo del muestreo.

2906

2907

h. Si se percibe que la Bomba trabaja de forma no habitual o emite un ruido extraño detener el muestreo de inmediato. Anotar la hora (hora y minuto).

2908

i. Al término del muestreo detener la bomba.

2909

j. Anotar la hora de término del muestreo (hora y minutos).

2910

2911

k. Colocar inmediatamente la tapa de goma o el papel parafilm en el brazo vertical del cabezal del Impactador A.

2912

2913

l. Desconectar la manguera del brazo lateral del cabezal del Impactador A y de los dos brazos del Impactador B.

2914

2915

m. Colocar inmediatamente la tapa de goma o el papel parafilm en los brazos de los Impactadores mencionados en letra anterior.

2916

2917

2918

2919

2920

2921

2922

NOTA. Las muestras deben enviarse al laboratorio para su análisis, ya sea en los mismos impactadores o en el tipo de contenedor que este indique, debidamente empacadas para evitar derrames y daños. Cada muestra debe individualizarse claramente, identificando el Impactador A (entrada del contaminante) y el Impactador B (conectado a la bomba). Además, se debe adjuntar un impactador con solución de muestreo que haya sido sometido a todas las manipulaciones de montaje y desmontaje en la bomba, antes de iniciar el muestreo, pero sin haberla hecho funcionar. Este impactador debe identificarse como Testigo

2923

2924

9.7 INSTRUCCIONES PARA EL MONTAJE Y USO DEL TUBO CON MATERIAL ADSORBENTE

2925

9.7.1 Generalidades

2926

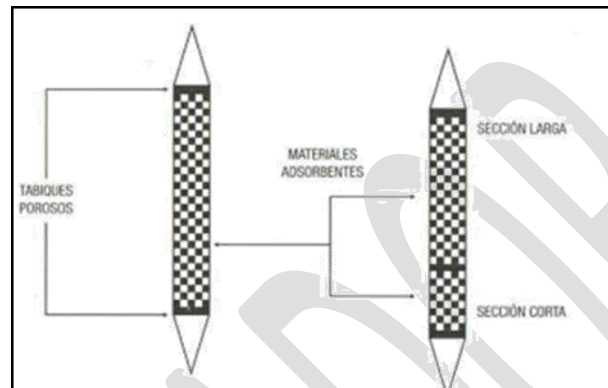
2927

El tubo relleno con carbón activado u otro material adsorbente (sílica gel, entre otros) es un dispositivo utilizado para la recolección de vapores de solventes orgánicos volátiles, así como de

2928 neblinas ácidas y gases presentes en el aire de los lugares de trabajo. Para este fin, se hace pasar
2929 un volumen conocido de aire a través del tubo mediante una bomba de muestreo portátil, de
2930 modo que los contaminantes queden retenidos por adsorción en el material de relleno.
2931 Posteriormente, estos compuestos se desorben mediante un reactivo o disolvente específico y
2932 se analizan por cromatografía gaseosa o cromatografía iónica, según corresponda.

2933 El tubo con material adsorbente puede constar de una sola sección o de dos secciones (Ver
2934 Figura 9 -7)

2935



2936

2937

Figura 9-7. Tubo con Material Adsorbente con Una o Dos Secciones.

2938

2939 9.7.2 Montaje y Uso del Tubo Adsorbente para Muestreo

2940

2941

2942

2943

2944

2945

2946

2947

2948

2949

2950

2951

2952

2953

2954

2955

2956

2957

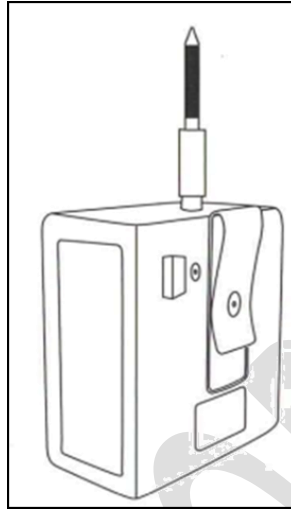
2958

2959

2960

- a. Numerar el tubo para identificar la muestra (con un papel autoadhesivo pequeño, de no más de 2 cm de ancho).
- b. Quebrar uno de los extremos del tubo utilizando un corta-tubos y conectarlo al extremo libre de la manguera de muestreo, previamente acoplada al fitting de entrada de la Bomba (Figura 8-8). En caso de que el tubo contenga dos columnas de material de relleno, se debe conectar la sección corta en dirección a la Bomba (Figura 9-7).
- c. Ubicar el Tren de Muestreo (bomba con tubo): Si el muestreo es de tipo personal el cabezal de muestreo deberá fijarse lo más próximo a la zona respiratoria del trabajador; si es de tipo ambiental el cabezal deberá ubicarse a una altura representativa de la zona respiratoria de los trabajadores.
- d. Quebrar el otro extremo del tubo con el mismo implemento. Hacer funcionar la Bomba de Muestreo.
- e. Anotar de inmediato la hora de comienzo del muestreo (hora y minutos).
- f. Si se percibe que la Bomba trabaja de forma no habitual o emite un ruido extraño detener el muestreo de inmediato. Anotar la hora (hora y minuto).
- g. Al término del muestreo detener la bomba.
- h. Anotar la hora de término del muestreo (hora y minutos).
- i. Sellar el extremo libre del tubo (extremo abierto) con trozo de cinta engomada.
- j. Sacar con cuidado el tubo de la manguera de muestreo y sellar el extremo abierto con un trozo de cinta engomada.

2961



2962

2963

Figura 9-8. Montaje de Tubo Adsorbente en Bomba de Muestreo Portátil.

2964

2965

2966

2967

2968

2969

Nota: Sellar los extremos del tubo adsorbente con película parafínica (film de laboratorio auto-sellante). Colocar todas las muestras recolectadas en una bolsa plástica, caja o frasco con tapa, asegurando el mantenimiento de la cadena de frío, y enviarlas al Laboratorio. Se debe adjuntar, además, un tubo sometido a todas las manipulaciones de montaje y desmontaje en la Bomba, pero sin haber sido operada, identificándolo como Testigo

2970

2971

2972

2973

2974

2975

En caso de requerirse el análisis de las sustancias utilizadas en los lugares de trabajo o de los materiales que contienen los contaminantes de interés, deberán enviarse aproximadamente 60–100 gramos de cada uno en envases herméticamente sellados para evitar derrames. Estos deben remitirse al Laboratorio en el mismo despacho que los tubos, pero embalados por separado

2976 **9.8 CALIBRACION DE TRENES DE MUESTREO**

2977 **9.8.1 Generalidades**

2978 La variable fundamental en todos los procedimientos de muestreo descritos en este capítulo es
2979 el volumen de aire muestreado. Por ello, resulta de máxima importancia determinarlo con la
2980 mayor precisión posible. La única manera de lograrlo es mediante una calibración adecuada del
2981 Tren de Muestreo, la cual permite establecer el flujo o caudal, es decir, el volumen de aire que
2982 aspira la Bomba por unidad de tiempo, expresado habitualmente en centímetros cúbicos por
2983 minuto (cc/min) o en litros por minuto (L/min).

2984 Para este propósito se dispone de distintos tipos de medidores de flujo, entre los que se
2985 incluyen: el Calibrador de Burbuja (Burbujómetro), el Flujómetro Digital y el Medidor de Gas
2986 Húmedo (Wet Test Meter).

2987 **9.8.2 Calibrador de Burbuja (Burbujómetro)**

2988 El Calibrador de Burbuja (ver Figura 8-9) es un instrumento altamente recomendable debido a
2989 la simplicidad de su construcción y manejo, su bajo costo y la facilidad de reposición en caso de
2990 inutilización. Este calibrador consiste en una bureta o tubo graduado con volúmenes fijos
2991 determinados, y debe contar con certificación, ya que se trata de un calibrador de tipo primario.

2992 El tubo de vidrio está abierto en un extremo, mientras que en el extremo cerrado posee un tubo
2993 lateral que se conecta al Tren de Muestreo que se desea calibrar. Una película de solución
2994 jabonosa colocada en el extremo abierto se desplaza a lo largo del tubo empujada por la succión
2995 generada por el Tren de Muestreo.

2996 Midiendo con un cronómetro el tiempo que tarda la película jabonosa en recorrer la distancia
2997 entre dos marcas cualesquiera del calibrador (volumen recorrido), es posible calcular el flujo o
2998 caudal del Tren de Muestreo utilizando la siguiente fórmula:

2999
$$Q = \frac{V \times 60}{t}$$

3000 Donde:

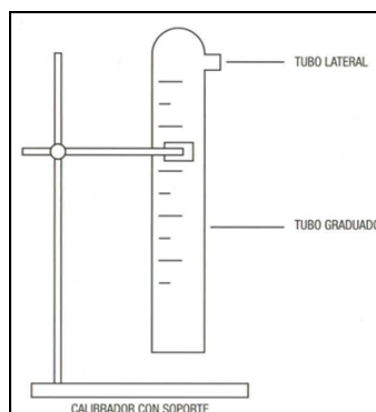
3001 Q = Caudal (expresado en l/min).

3002 V = Volumen de aire comprimido entre dos marcas que recorre la película jabonosa
3003 en el tiempo t (expresado en litros).

3004 60 = Segundos que forman un minuto.

3005 T = Tiempo en segundos que demora la película jabonosa entre dos marcas
3006 consideradas

3007



3008

3009

Figura 9-9. Calibrador de Burbuja o Burbujómetro.

3010

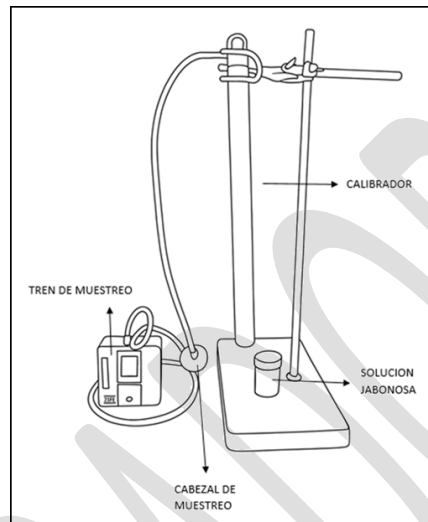
9.8.2.1 Calibración de Trenes de Muestreo Mediante el Calibrador de Burbuja

3011

Se describe a continuación un procedimiento general de calibración de Trenes de Muestreo, válido, por lo tanto, para cualquiera de los Trenes de Muestreo descritos en este Capítulo. El montaje generalizado se señala en la Figura 8-10.

3013

3014



3015

Figura 9 -10. Esquemas de Calibración de Trenes de Muestreo Mediante el Burbujómetro.

3016

3017

3018

Proceder según la siguiente secuencia:

3019

- Instalar el Calibrador de Burbuja en un soporte estable y apropiado para este tipo de instrumento, asegurando que permanezca firme y no se mueva durante la medición.

3020

3021

3022

- Previo a iniciar la medición del flujo o caudal del Tren de Muestreo, mantener la Bomba de Muestreo en funcionamiento, para que esta se estabilice, entre 5 a 10 minutos, o el tiempo que indique su Manual de Operación.

3023

3024

3025

- Armar el Tren de Muestreo.

3026

- Conectar el tubo lateral del Calibrador de Burbuja al cabezal de muestreo del Tren de Muestreo que se va a calibrar. Este cabezal debe ser similar al que se empleará durante el muestreo y provenir del mismo lote de cabezales de muestreo que se utilizarán en las mediciones (portafiltro, impactador o tubo con material absorbente).

3027

3028

3029

3030

3031

- Ajustar el flujo o caudal de la Bomba al indicado por la metodología de muestreo a utilizar (Caudal de Referencia) y esperar que se estabilice.

3032

3033

- Coloque el extremo abierto del Calibrador un vaso con solución jabonosa, de modo que la solución que ejerce el Tren de Muestreo haga ascender una película jabonosa.

3034

3035

NOTA. La solución jabonosa se debe preparar con agua destilada y jabón líquido neutro o detergente suave. Se recomienda mezclar aproximadamente 1 parte de jabón por 10 a 20 partes de agua, agitando suavemente para evitar la formación excesiva de espuma. La solución debe generar burbujas estables y visibles al

3036

3037

3038

3039 desplazarse por el tubo del calibrador. Es importante no utilizar detergentes con
 3040 fragancias, colorantes o aditivos que puedan dejar residuos en el calibrador. La
 3041 solución puede prepararse en pequeñas cantidades y almacenarse en un frasco
 3042 limpio para su uso durante la calibración

3043 g. Mida con un cronómetro el tiempo que demora en recorrer un volumen
 3044 determinado. Con estos datos haga un cálculo preliminar del flujo o caudal
 3045 considerando la fórmula señalada en 8.8.2.

3046 h. Si corresponde, proceder a ajustar el caudal de la Bomba, repitiendo el
 3047 procedimiento indicado en letra “e” precedente, hasta alcanzar un caudal dentro
 3048 del rango aceptado de acuerdo al criterio de calibración especificado en 9.9.

3049 i. Llegado a este punto se proceder a la calibración definitiva. Para ello repetir el paso
 3050 señalado en letra “e”, al menos 3 veces. El flujo o caudal definitivo será el promedio
 3051 aritmético de estas tres o más determinaciones parciales.

3052 j. Se deberá dejar registrado, para cada calibración parcial, el volumen de calibración
 3053 considerado, el tiempo que demora la película jabonosa en recorrer dicho volumen
 3054 y el flujo o caudal respectivo.

3055 **Nota: Se considerarán “bajos caudales” aquellos inferiores a 0,5 (l/min) y “altos**
 3056 **caudales” los iguales o superiores a 0,5 (l/min)**

3057 Para simplificar el cálculo de caudales o flujos se presenta una tabla que muestra el
 3058 volumen de calibración a considerar, según sea un bajo o alto caudal, y el Factor a
 3059 utilizar para determinarlos:

3060

Volumen de Calibración		Factor
Caudal Bajo	Caudal Alto	
50 cc	---	3
---	250 cc	15
---	350 cc	21

3061

3062

3063 **Ejemplo 1:** Cálculo da Factor =15

3064 - Se desea calibrar un Tren de Muestreo para un caudal de 2 (l/min)

3065 - Como es un alto caudal se toma un volumen de calibración = 250 cc = 0,25 litros

3066 Luego:

3067
$$Q = \frac{V \times 60}{t} = \frac{0,25 \times 60}{t} = \frac{15}{t}$$

3068

Por lo tanto, el Factor es igual a 15.

3069

3070 **Ejemplo 2:** Calibración de un Tren de Muestreo para polvo total no clasificado.

3071 - Caudal de referencia = 2 (l/min)

3072 - Tiempo promedio, de 3 lecturas, que demora película jabonosa en recorrer una
3073 distancia que representa un volumen de 350 cc en un Burbujómetro 7,5 segundos

3074 - Caudal de calibración:

$$3075 \quad Q = \frac{15}{7,5} = 2(l/min)$$

3076

3077 k. Para asegurarse que no hubo variaciones del flujo o caudal por sobre lo aceptado en
3078 los criterios de calibración (Ver 8.9), y de esta forma poder determinar el Volumen
3079 de muestreo, se deberá calibrar el Tren de Muestreo antes del muestreo
3080 ("Calibración Inicial") y repetirla finalizado éste (" Calibración Final"). Esta última
3081 calibración deberá realizarse sin modificar el flujo o caudal de la Bomba, utilizando
3082 el mismo cabezal de muestreo usado en la calibración inicial, asumiendo los criterios
3083 de calibración ya señalado.

3084 l. El volumen de aire muestreado se determinará de acuerdo a la siguiente ecuación:

3085

3086

$$V_m = Q_m \times t_m$$

3087

Donde:

3088

V_M = Volumen de muestreo (litros)

3089

Q_M = Caudal de muestreo (promedio aritmético entre caudal inicial y
caudal final) (l/min)

3090

3091

T_M = Tiempo de muestreo (min)

3092

3093

9.8.3 Flujómetro Digital

3094

Este calibrador corresponde a la versión digital del Calibrador de Burbuja o Burbujómetro, que
3095 puede estar asociado a un programa computacional de adquisición de datos. Existen de burbuja
3096 y de pistón.

3097

3098

9.8.3.1 Calibración de Trenes de Muestreo Mediante el Flujómetro Digital

3099

La **Figura 9-11** muestra el montaje generalizado de calibración de los Trenes de
3100 Muestreo mediante el *Flujómetro Digital*



3101

3102

3103

Para realizar una calibración proceder de la siguiente manera:

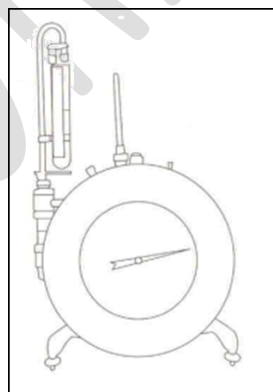
- 3104 a. Previo a iniciar la medición del flujo o caudal del Tren de Muestreo, mantener la
3105 bomba en funcionamiento, para que esta se estabilice, entre 5 a 10 minutos, o el
3106 tiempo que indique su Manual de Operación.
- 3107 b. Armar el Tren de Muestreo.
- 3108 c. Conectar, con un trozo de manguera, el flujómetro y el cabezal de muestreo del Tren
3109 de Muestreo que se va a calibrar, el cual deberá ser similar (no el mismo) al que se
3110 va a utilizar en el muestreo (Portafiltro, Impactador, Tubo con Material Absorbente).
- 3111 d. Ajustar el flujo o caudal de la Bomba al indicado por la metodología de muestreo a
3112 utilizar (Caudal de Referencia) y esperar que se estabilice. Realizar las mediciones
3113 necesarias con el flujómetro hasta lograr un flujo o caudal dentro del rango
3114 aceptado de acuerdo al criterio de calibración especificado en 8.9.
- 3115 e. Hacer el número de lecturas que indica el Manual de Operaciones del flujómetro,
3116 considerando si es un “alto caudal” o un “bajo caudal”.
- 3117 **Nota.** Se considerarán “bajos caudales” aquellos inferiores a 0,5 (l/min) y “altos
3118 caudales” los iguales o superiores a 0,5 (l/min)
- 3119 f. Se deberá dejar registrado el caudal promedio del número de lecturas que se realizó
3120

3121 **9.8.4 Calibrador de Gas Húmedo (Wet Test Meter)**

3122 Este calibrador de tipo secundario está constituido por un tambor que contiene en su interior
3123 un rotor dividido en cuatro compartimientos, el cual se encuentra parcialmente sumergido en
3124 agua. El proceso de calibración consiste en medir el tiempo que demora un puntero en recorrer
3125 un perímetro determinado del tambor, correspondiente a un volumen específico, el cual varía
3126 según el tipo de caudal (alto o bajo).

3127 Al tratarse de un calibrador de tipo secundario, deberá ser sometido, al menos una vez al año, a
3128 una calibración utilizando un patrón de tipo primario.

3129



3130

3131

Figura 9-12. Calibrador de Gas Húmedo.

3132

3133 **9.8.4.1 Calibración de Trenes de Muestreo Mediante el Calibrador de Gas Húmedo**

3134 La siguiente tabla muestra los Factores a considerar para el cálculo del caudal de calibración,
3135 teniendo presente si se requiere un alto o bajo caudal.

Volumen de Calibración		Factor
Caudal Bajo	Caudal Alto	
0,05 (pie ³)	---	84,96
---	0,1 (pie ³)	169,92

3136

3137

Obs.:

3138

- El recorrido de media vuelta del perímetro del círculo equivale a un volumen de 0,05 (pie³)

3139

3140

- El recorrido de una vuelta del perímetro del círculo equivale a un volumen de 0,1 (pie³)

3141

3142

3143

Ejemplo: Se desea calibrar un Tren de Muestreo para evaluar humos metálicos, por lo cual, se requiere un caudal de muestreo de 1,8 (l/min).

3144

3145

- Como es un alto caudal se medirá el tiempo que demora el puntero en recorrer el perímetro del círculo

3146

3147

- Tiempo de recorrido del puntero: 94,4 segundos

3148

3149

Luego:

3150

$$Q = \frac{Factor}{t (s)} = \frac{169,92}{94,4} = 1,8 (l/min)$$

3151

3152

Para realizar una calibración proceder según la siguiente secuencia:

3153

- Instalar el Calibrador en un soporte que garantice estabilidad, considerando su peso.

3154

- Previo a iniciar la medición del flujo o caudal del Tren de Muestreo, mantener la bomba en funcionamiento, para que esta se estabilice, entre 5 a 10 minutos, o el tiempo que indique su Manual de Operación.

3155

3156

3157

- Armar el Tren de Muestreo.

3158

- Conectar, con un trozo de manguera, el Wet Test Meter y el cabezal de muestreo del Tren de Muestreo que se va a calibrar, el cual deberá ser similar (no el mismo) al que se va a utilizar en el muestreo (Portafiltro, Impactador, Tubo con Material Adsorbente).

3159

3160

3161

3162

- Ajustar el flujo o caudal de la Bomba al indicado por la metodología de muestreo a utilizar (Caudal de Referencia) y esperar que se estabilice. Realizar las mediciones necesarias hasta lograr un flujo o caudal dentro del rango aceptado de acuerdo al criterio de calibración especificado en 8.9.

3163

3164

3165

3166

- Logrado lo anterior proceder a la calibración definitiva. Para ello realizar, al menos, 3 mediciones. El flujo o caudal definitivo será el promedio aritmético de estas tres o más determinaciones parciales.

3167

3168

- 3169 g. Se deberá dejar registrado, para cada calibración parcial, el volumen equivalente de
3170 calibración considerado, el tiempo que demora el puntero en recorrer el perímetro
3171 correspondiente del círculo y el flujo o caudal respectivo.
- 3172 **Nota.** Se considerarán “bajos caudales” aquellos inferiores a 0,5 (l/min) y “altos
3173 caudales” los iguales o superiores a 0,5 (l/min)

BORRADOR

3174 9.9 CRITERIOS DE CALIBRACIÓN PARA UN MUESTREO REPRESENTATIVO

3175 El producto final de la toma de una muestra, además de la recolección de la sustancia a evaluar
3176 en el cabezal de muestreo correspondiente, es la **determinación del volumen de aire que**
3177 **atravesó dicho cabezal**, conocido como **volumen de muestreo (V_M)**. Para obtener este
3178 resultado, es fundamental verificar que el **caudal de muestreo (Q_M)** se haya mantenido
3179 constante durante todo el período de evaluación, permitiendo solo una desviación dentro del
3180 rango aceptable respecto del **caudal de referencia**, definido por la metodología de muestreo
3181 aplicable.

$$V_M = Q_M \times t_M$$

3182

3183

3184 9.9.1 Procedimiento para Determinar que el Caudal de Muestreo es Constante

3185 a. Se aceptará, para cada una de las calibraciones parciales realizadas con un
3186 burbujómetro o un medidor de volumen húmedo (Wet Test Meter), una desviación
3187 respecto del caudal de referencia de hasta $\pm 4\%$, considerada como rango de aceptación.
3188 En el caso de los burbujómetros digitales, el promedio de las lecturas obtenidas, según
3189 lo establecido en su Manual de Operación, no deberá superar dicho porcentaje.

3190 b. Se deberá realizar una Calibración Inicial, de acuerdo a lo establecido anteriormente
3191 (Ver 8.8: Calibración de Trenes de Muestreo), antes de realizar el muestreo, de acuerdo
3192 al siguiente procedimiento:

3193 b.1. Burbujómetro y Wet Test Meter

3194 Efectuar 3 calibraciones parciales, donde cada una de ellas deberá registrar un
3195 tiempo que permita determinar un caudal dentro del rango de aceptación (caudal
3196 de referencia $\pm 4\%$).

3197 Sacar el promedio aritmético de los tres tiempos registrados y con este valor
3198 calcular el caudal de Calibración Inicial (Q_i). (Ver 9.8.2.1. y 9.8.4.1.).

3199 Si los caudales obtenidos no se encuentran dentro de los rangos de aceptación
3200 establecidos, la bomba de muestreo deberá ser retirada de servicio y enviada a
3201 mantención para su revisión y ajuste.

3202 b.2. Flujómetro Digital

3203 Realizar el número de calibraciones parciales que establece el Manual de
3204 Operaciones, hasta alcanzar el rango aceptable de caudal, el cual corresponderá
3205 al de Calibración Inicial (Q_i). (Ver 8.8.3.1. y letra "a" de 8.9.1.).

3206 Si los caudales obtenidos no se encuentran dentro de los rangos de aceptación
3207 establecidos, la bomba de muestreo deberá ser retirada de servicio y enviada a
3208 mantención para su revisión y ajuste.

3209 c. Finalizado el muestreo se deberá realizar una nueva calibración para determinar el
3210 Caudal Final (Q_f), para lo cual se procederá de acuerdo a lo señalado en letras "a" y "b"
3211 precedentes.

3212 d. Comprobar que la diferencia entre el caudal inicial y el caudal final no supere el 5%,
3213 utilizando las siguientes fórmulas:

3214 e.

3215
$$\frac{Q_{\text{mayor}} - Q_{\text{menor}}}{Q_{\text{menor}}} \times 100$$

3216 Se considerará que el caudal mayor podrá corresponder indistintamente al caudal inicial
3217 o al caudal final.

3218 Si la diferencia entre el caudal inicial y final es superior al 5 %, se deberá descartar la
3219 muestra y enviar la bomba de muestreo a mantención para su revisión y ajuste.

3220

3221 f. Solo si se cumplen los requisitos de que el caudal inicial y el caudal final se encuentren
3222 dentro del rango permitido (caudal de referencia ± 4 %) y la diferencia entre ambos no
3223 supere el 5%, se podrá determinar el caudal de muestreo (Q_M), el cual corresponderá al
3224 promedio aritmético de ambos valores:

3225

3226
$$Q_m = \frac{Q_i + Q_f}{2}$$

3227 Con el caudal de muestreo y el tiempo efectivo de toma de muestra (t_M) se determinará
3228 el volumen de muestreo (V_M), aplicando la fórmula indicada en el apartado 8.9: Criterios
3229 de calibración para un muestreo representativo

3230

3231 **9.10 MUESTRAS REPRESENTATIVAS Y CONFIABLES**

3232 Para establecer que una muestra es representativa y confiable se deberán considerar aspectos
3233 referidos a la toma de muestra y al análisis de la muestra. Los primeros permitirán asegurar la
3234 representatividad de las muestras tomadas y los segundos la confiabilidad de los resultados.

3235

3236 **9.10.1 Representatividad de las Muestras**

3237 Que una muestra sea representativa dependerá de lo siguientes parámetros:

3238 a. El tipo de muestra: según el propósito del muestreo se determinará el tipo de muestra.
3239 Cuando se trate de verificar el cumplimiento de un límite permisible la muestra deberá ser
3240 de tipo personal, es decir, el trabajador evaluado deberá portar el tren de muestreo. Para
3241 otros fines, podrán realizarse muestreos del ambiente de trabajo, y según las circunstancias
3242 combinar con muestreos personales.

3243 b. El tiempo de muestreo: para la verificación de cumplimiento de límites permisibles los
3244 tiempos de muestreo deberán ser los siguientes, según el tipo de límite:

3245 - Límite permisible ponderado : Al menos el 70% de la jornada de trabajo.

3246 - Límite permisible temporal : Al menos 15 minutos, durante una jornada, en
3247 la etapa más crítica del proceso.

3248 - Límite permisible absoluto : Idealmente una medición instantánea, en
3249 período de mayor contaminación.

3250 Cuando se planifique tomar más de una muestra en un período de evaluación, el número
3251 total de estas muestras parciales estará determinado por el volumen mínimo de muestreo
3252 que exige la técnica analítica.

3253 En el caso específico de la verificación del límite permisible temporal, puede ocurrir que,
3254 debido a la necesidad de completar un volumen mínimo de muestreo, el tiempo de toma de
3255 muestra se extienda significativamente más de 15 minutos, superando así la etapa del
3256 proceso que se desea evaluar. Bajo estas circunstancias, se deberá prestar especial atención
3257 a la interpretación de los resultados, considerando las posibles variables que puedan afectar
3258 su representatividad.

3259 Cuando se requiera verificar el cumplimiento de un límite permisible absoluto y no se
3260 disponga de un instrumento capaz de realizar mediciones instantáneas, deberá tomarse una
3261 muestra de mayor duración. En este caso, será necesario aplicar los mismos cuidados y
3262 consideraciones que se establecen para las sustancias con límites permisibles temporales.

3263 c. Cumplir con los criterios de calibración especificados en “9.9: Criterios de Calibración para
3264 un Muestreo Representativo”, y de corrección de “9.11: Corrección de Caudales y
3265 Concentraciones por Efectos de Altura”.

3266 d. Ubicar correctamente el cabezal de muestreo, tanto para muestreos del ambiente de
3267 trabajo como para muestreos personales.

3268 e. Utilizar métodos de muestreo de acuerdo a protocolos oficiales.

3269 f. Agrupar a los trabajadores según un criterio de exposición similar y, de este grupo,
3270 seleccionar una muestra representativa (uno o más trabajadores), asegurándose de que
3271 la(s) actividad(es) o tarea(s) realizada(s) sea(n) habitual(es) y que impliquen un tiempo de
3272 exposición significativo.

3273 g. Trazabilidad de la información: Para cada muestra se deberá registrar, como mínimo, la
3274 identificación de la muestra, el nombre del trabajador (especificando las actividades o tareas
3275 realizadas) o, en su defecto, el área o tarea evaluada. Asimismo, deberá consignarse la fecha
3276 de la toma de muestra, el turno evaluado, la hora de inicio y término del muestreo, el ciclo
3277 de turno (si aplica) y la altura geográfica del sitio de trabajo evaluado.

3278 Idealmente, de forma complementaria, cuando sea posible, se podrá medir la temperatura
3279 y humedad relativa ambiental, así como la dirección y velocidad de aire.

3280 h. Competencia técnica del personal que calibra y realiza el muestreo: La persona o personas
3281 encargadas de calibrar los equipos y efectuar la toma de muestras deberán contar con
3282 formación suficiente y experiencia demostrable en los principios de la higiene industrial y
3283 en las técnicas de medición, a fin de garantizar que la evaluación se realice de acuerdo a los
3284 protocolos de muestreo vigentes.

3285 i. La población trabajadora a evaluar es clave para obtener una muestra representativa, ya
3286 que son quienes aportan información sobre las tareas efectivamente realizadas durante su
3287 jornada y sobre situaciones no habituales que puedan ocurrir. Por ello, deberán ser
3288 informados acerca del objetivo del muestreo, del agente a evaluar, del funcionamiento del
3289 tren de muestreo, de los cuidados necesarios para evitar su detención y de las circunstancias
3290 en las que deberán comunicarse con la persona encargada de realizar la toma de muestras.

3291

3292 **9.10.2 Confiabilidad de los Resultados**

3293 Es fundamental que el Laboratorio que analiza las muestras tenga implementado un Programa
3294 de Aseguramiento de la Calidad, dentro del cual se incluya la participación en programas
3295 nacionales o internacionales ensayos de aptitud para los analitos correspondientes.



3296 Las técnicas analíticas deben estar validadas y quienes toman las muestras deben solicitar a
3297 éstos, como mínimo, para las distintas sustancias que necesitan analizar: El volumen mínimo de
3298 muestreo que requiere la técnica analítica, el límite inferior de cuantificación de ésta, así como
3299 el límite inferior de detección.
3300

BORRADOR

3301 **9.11 CORRECCIÓN DE CAUDALES Y CONCENTRACIONES POR EFECTOS DE ALTURA**

3302 **9.11.1 Aspectos Generales**

3303 Los Límites Permisible Ponderados (LPP) se expresan en “mg/m³” (miligramos por metro cúbico)
3304 o en “ppm” (partes por millón). La primera expresa la CONCENTRACION del contaminante (masa
3305 de contaminantes por unidad de volumen de aire), y la segunda expresa una PROPORCIÓN entre
3306 el número de unidades de volumen de un contaminante gaseoso o vapor por cada millón de
3307 unidad de volumen de aire que lo contiene. Esta última también puede expresarse como la
3308 PROPORCIÓN entre el número de moléculas de un contaminante gaseoso o vapor por cada
3309 millón de moléculas de aire que lo contiene.

3310 La norma establece que, para puestos de trabajo ubicados a una altura geográfica superior a los
3311 1.000 metros sobre el nivel del mar, los Límites Permisibles Ponderados (LPP), los Límites
3312 Permisibles Temporales (LPT) y los Límites Permisibles Absolutos (LPA), solo cuando están
3313 expresados en mg/m³ o fibras/cc, deberán ser corregidos por el Factor de Altura (F_a) que resulta
3314 de la aplicación de la siguiente fórmula:

3315

3316
$$F_a = \frac{P}{760} \quad (1)$$

3317 Donde “P” es la presión atmosférica local, medida en milímetros de mercurio, y “760” es la
3318 presión atmosférica a nivel del mar en la misma unidad.

3319 Esta corrección resulta necesaria, ya que a mayor altitud el organismo requiere inhalar un
3320 volumen superior de aire para obtener la cantidad de oxígeno necesaria para sus funciones
3321 vitales. En consecuencia, la concentración de contaminantes permitida en altura debe ser
3322 inferior a la establecida a nivel del mar, con el fin de evitar que, al incrementarse el volumen de
3323 aire respirado para mantener un funcionamiento fisiológico adecuado, se incorpore una
3324 cantidad de contaminantes superior a la tolerable por el organismo.

3325 Los límites permisibles expresados en “ppm” no se corrigen por altura, por cuanto, como se
3326 señala anteriormente, éstos indican la proporción entre el número de unidades de volumen (o
3327 número de moléculas) del contaminante gaseoso o vapor por cada millón de unidades de
3328 volumen (o número de moléculas) del aire en el cual se encuentra el contaminante. El número
3329 de moléculas que un volumen de aire contiene en altura (aire enrarecido) es menor que el
3330 número de moléculas que ese mismo volumen de aire contiene a nivel del mar; sin embargo, la
3331 proporción entre todas las moléculas que el aire contiene (incluidas las del contaminante
3332 gaseoso o vapor) es la misma a nivel del mar que en altura, y en razón de esto los límites
3333 permisibles expresado en “ppm” no necesitan corregirse.

3334 En algunos casos puede ser necesario o conveniente transformar los límites permisibles de gases
3335 y vapores, expresados en “ppm”, a “mg/m³”, o viceversa, para lo cual se debe utilizar la siguiente
3336 relación:

3337
$$mg/m^3 = ppm \frac{PM}{V_m} \quad (2)$$

3338 Donde:

3339 PM.= Peso molecular – gramo de la sustancia.

3340 V_m.= Volumen molar para las condiciones en que se efectuó la medición.

3341

Tabla 9 -1. Propiedades Físicas de la Atmósfera en Altura.

Altura m	Kg/m ³		Presión Barométrica		Volumen Molar
	Relativa	Kg/m ³	mm Hg	mbar (hPa)	
0	1,0000	1,225	760,0	1.013,3	24,45
250	0,9707	1,189	737,8	983,6	24,45
500	0,9422	1,154	716,0	954,7	24,45
750	0,9143	1,120	694,9	926,4	24,45
1000	0,8871	1,087	674,2	898,8	24,45
1250	0,8605	1,054	654,0	871,9	28,43
1500	0,8346	1,022	634,3	845,7	29,31
1750	0,8094	0,991	615,1	820,1	30,22
2000	0,7847	0,961	596,4	795,1	31,17
2250	0,7607	0,932	578,1	770,7	32,16
2500	0,7372	0,903	560,3	747,0	33,18
2750	0,7144	0,875	542,9	723,9	34,24
3000	0,6921	0,848	526,0	701,3	35,34
3250	0,6704	0,821	509,5	679,3	36,49
3500	0,6493	0,795	493,4	657,9	37,68
3750	0,6287	0,770	477,8	637,0	38,91
4000	0,6086	0,746	462,5	616,6	40,20
4250	0,5890	0,722	447,7	596,8	41,53
4500	0,5700	0,698	433,2	577,5	42,92
4750	0,5515	0,676	419,1	558,8	44,36
5000	0,5334	0,653	405,4	540,5	45,86
5250	0,5158	0,632	392,0	522,7	47,43
5500	0,4987	0,611	379,0	505,4	49,05
5750	0,4821	0,591	366,4	488,5	50,74
6000	0,4659	0,571	354,1	472,1	52,50
6250	0,4502	0,551	342,1	456,2	54,34
6500	0,4349	0,533	330,5	440,7	56,25
6750	0,4200	0,515	319,2	425,6	58,24
7000	0,4055	0,497	308,2	410,9	60,32
7250	0,3915	0,480	297,5	396,7	62,49
7500	0,3778	0,463	287,1	382,8	64,76
7750	0,3645	0,447	277,1	369,4	67,09
8000	0,3517	0,431	267,3	356,3	69,55
8250	0,3391	0,415	257,7	343,6	72,14
8500	0,3270	0,401	248,5	331,3	74,81
8750	0,3152	0,386	239,5	319,3	77,63
9000	0,3037	0,372	230,8	307,7	80,55
9250	0,2926	0,358	222,4	296,5	83,59

9500	0,2818	0,345	214,2	285,5	86,79
9750	0,2714	0,332	206,2	274,9	90,16
10000	0,2612	0,320	198,5	264,7	93,66

3343

3344 Hasta una altura de 1.000 metros sobre el nivel del mar se utilizará un volumen molar igual a
 3345 24,45 considerando condiciones comunes de 25° C y 760 mm Hg. Para alturas superiores a 1.000
 3346 metros se utilizará el volumen molar indicado en la **Tabla 9-1**.

3347 Sin perjuicio de las presiones barométricas contenidas en la Tabla VIII-1 para algunas alturas
 3348 geográficas específicas, a través de la siguiente fórmula se podrá determinar, para cualquier
 3349 altura, la presión local:

3350

$$3351 \quad P = 101325 \left(1 - \frac{0,0065 \times h}{288,15} \right)^{5,255781293}$$

3352 Donde:

3353 P = Presión barométrica a la altura geográfica "h", expresada en Pascal (Pa).

3354 h = Altura geográfica expresada en Metros (m).

3355 En relación al muestreo, se pueden producir tres situaciones, las cuales se analizan a
 3356 continuación: Calibración y toma de muestra a nivel del mar, calibración en altura y muestreo
 3357 en altura y calibración a nivel del mar y muestreo en altura o viceversa.

3358

3359 **9.11.2 Calibración y Toma de Muestra a Nivel del Mar (o Cercano a este)**

3360 En este caso el volumen muestreado se determina multiplicando el caudal de muestreo por el
 3361 tiempo de muestreo:

$$3362 \quad V_m = Q_m \times t_m \quad (3)$$

3363

3364 Donde:

3365 V_M = Volumen muestreado (litros).

3366 Q_M = Caudal de calibración (1/min).

3367 T = Tiempo de muestreo (min).

3368 Determinado el volumen de muestreo y con la masa que determina en la muestra el laboratorio
 3369 se calcula la concentración de la sustancia evaluada. Si se ha muestreado para verificar el
 3370 cumplimiento del límite permisible ponderado o el límite permisible temporal, se comparará la
 3371 concentración promedio ponderada obtenida con este límite, el cual deberá corregirse si
 3372 corresponde.

3373 La Tabla VIII-2 muestra bajo qué condiciones de altura geográfica y horas semanales de trabajo
 3374 se deberán corregir los límites permisibles, por el Factor de Altura (Fa) y/o Factor de Jornada
 3375 (Fj), considerando si están expresados en "mg/m³" o en "ppm".

3376

3377
3378

Tabla 9-2. Corrección de Límites Permisibles para los Lugares de Trabajo según Altura Geográfica y Horas de Trabajo Semanales.

Condición de Horas Totales de Trabajo ⁽¹⁾ y Altura Geográfica ⁽⁵⁾	LPP ⁽²⁾		LPT ⁽³⁾		LPA ⁽⁴⁾	
	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	ppm
Hasta 40 horas y hasta 1.000 m.s.n.m.						
Hasta 40 horas y más de 1.000 m.s.n.m.	Fa		Fa		Fa	
Más de 40 horas y hasta 1.000 m.s.n.m.	Fj	Fj				
Más de 40 horas y más de 1.000 m.s.n.m.	Fj x Fa	Fj	Fa		Fa	

3379

3380 (1) Procederá aplicar el Factor de Jornada (Fj) únicamente a los Límites Permisibles Ponderados
3381 (LPP) cuando las horas totales de trabajo excedan las establecidas para una jornada semanal
3382 ordinaria o un ciclo de turno. Para estos efectos, deberán considerarse los siguientes
3383 criterios, conforme a lo dispuesto en la Ley N° 21.561:

- 3384 a. Hasta marzo de 2026, se deberán considerar las horas totales iguales a 44, siempre que
3385 los Límites Permisibles Ponderados (LPP) hayan sido actualizados en función de dicho
3386 número de horas.
3387 b. Desde abril de 2026 y hasta marzo de 2028, se deberán considerar las horas totales
3388 iguales a 42, siempre que los Límites Permisibles Ponderados (LPP) hayan sido
3389 actualizados en función de dicho número de horas.
3390 c. Desde abril de 2028, se deberán considerar las horas totales iguales a 40 horas, siempre
3391 que se hayan actualizado los LPP para este número de horas.
3392 d. El Factor de Jornada (Fj) se deberá aplicar ya sea que el LPP esté expresado en mg/m³ o
3393 en ppm, para cuyos efectos se deberá utilizar la fórmula establecida en el reglamento
3394 vigente en la materia.

3395 (2) Límite Permisible Ponderado

3396 (3) Límite Permisible Temporal

3397 (4) Límite Permisible Absoluto

3398 (5) A todos los tipos de límite permisibles (LPP, LPT, LPA) se deberá aplicar el Factor de Altura
3399 (Fa), siempre que se cumplan los siguientes requisitos:

- 3400 - Los límites deberán estar expresados en mg/m³ o fibras/cc según sea el caso.
3401 - El lugar de trabajo deberá estar a una altura geográfica superior a los 1.000 m.s.n.m.

3402

3403 **Ejemplos:**

3404 a. Si en un puesto de trabajo se utiliza una sustancia "X" y está ubicado a 1345 m.s.n.m. y
3405 trabaja 50 horas semanales, el LPP deberá corregirse tanto por "Fj" como por "Fa" si este
3406 está expresado en "mg/m³". Si está expresado en "ppm" el LPP solo se corregirá por "Fj".

3407 b. Una sustancia "Y" se utiliza en una faena que está ubicada a 750 m.s.n.m. y trabaja 50 horas
3408 semanales, su LPT no se corregirá por "Fj" ni por "Fa", ya sea que esté expresado en "mg/m³"
3409 o en "ppm".

3410 **9.11.3 Calibración en Altura y Muestreo en Altura**

3411 Cuando la calibración y la toma de muestra se realizan a la misma altura geográfica, el **volumen**
3412 **muestreado** se determina según lo establecido en el punto **9.11.2 (fórmula 3)**. Para verificar el
3413 **cumplimiento del límite permisible**, y en caso de que sea necesario aplicar correcciones por
3414 **Factor de Altura (Fa)** y/o **Factor de Jornada (Fj)**, estas se deberán determinar conforme a lo
3415 indicado en la **Tabla 9-2**.

3416 En los casos señalados en 9.11.2. y 9.11.3., una vez obtenida la concentración, puede ser
3417 necesario expresarla a condiciones significativamente diferentes, especialmente de presión y
3418 temperatura, para lo cual se debe aplicar la ecuación de la Ley de los Gases:

3419

3420
$$\frac{V_m \times P_m}{T_m} = \frac{V_c \times P_c}{T_c} \quad (4)$$

3421

3422 Donde los subíndices **M** y **C** corresponden a las condiciones de muestreo y de calibración,
3423 respectivamente. Se debe tener presente que las temperaturas T_M y T_C deben expresarse en
3424 grados Kelvin (°K).

3425

3426 **9.11.4 Calibración a Nivel del Mar y Muestreo en Altura, o en sentido inverso**

3427 En estos casos el caudal de muestreo se obtiene según la siguiente ecuación:

3428

3429
$$Q_m = Q_{cal} \sqrt{\frac{d_{cal}}{d_M}} \quad (5)$$

3430

3431 Donde:

3432 Q_M = Caudal de muestreo (1/min)

3433 Q_{cal} = Caudal de calibración (1/min)

3434 d_M = Densidad del aire el lugar de muestreo: Kg/m³ (Ver Tabla 9-1)

3435 d_{cal} = Densidad del aire en lugar de calibración: Kg/m³ (Ver Tabla 9-1)

3436

3437 El volumen muestreado se calcula multiplicando el caudal de muestreo (Q_M) calculado por
3438 ecuación (5) por el tiempo de muestreo, en minutos, (ecuación 3).

3439 En este caso se deben considerar los siguientes aspectos:

3440 a. Si la **bomba de muestreo** cuenta con **compensación por presión**, **no será necesario**
3441 **corregir el caudal de calibración**, ya que este corresponde al mismo valor obtenido durante
3442 la calibración. Se deberá **consultar el Manual de Operación** para verificar si el equipo posee
3443 esta característica y, en caso de que así sea, **determinar hasta qué altura** se mantiene dicha
3444 compensación.

3445 b. En caso de no disponer de información sobre si la **bomba de muestreo** cuenta o no con
3446 **compensación por presión**, se deberá **realizar la calibración en la misma altura geográfica**
3447 en la que se efectuará la toma de muestra.

- 3448 c. Cuando la calibración se realiza a **nivel del mar** y se muestrea en **altura**, las concentraciones
3449 obtenidas deben compararse con los **límites permisibles corregidos por altura** cuando estos
3450 se expresan en **mg/m³**. Sin perjuicio de lo anterior, en el caso del **Límite Permissible**
3451 **Ponderado (LPP)**, cuando corresponda, también deberá aplicarse la corrección por **Factor**
3452 **de Jornada (Fj)**.
- 3453 d. Cuando se calibra en altura y se muestrea a nivel del mar (o cerca de éste), las
3454 concentraciones obtenidas se comparan con los límites permisibles señalados en la norma
3455 vigente.

3456

3457 **Ejemplo:**

3458 Se ha tomado una muestra de cuarzo en el área de molienda de una empresa Minera de Cobre,
3459 ubicada a 2.000 sobre el nivel del mar, existiendo una temperatura media para el período de
3460 muestreo 18 °C.

3461 El Tren de Muestreo se calibra a nivel del mar, a una temperatura de 15 °C, y se determina un
3462 caudal de 1,69 (l/min). El período de muestreo cubre el 70% de una jornada de 8 horas. La
3463 empresa trabaja un total de 45 horas semanales.

3464 El laboratorio informa que se encontró en la muestra una masa de 0,041 mg de cuarzo.

3465 Se requieren conocer:

- 3466 a. ¿Cuál es el caudal real de muestreo a los 2.000 metros de altura?

3467
$$Q_m = Q_{cal} \sqrt{\frac{d_{cal}}{d_M}}$$

3468

3469 De Tabla 9-1:

3470 $d_{cal} = 1,225 \text{ K/m}^3$

3471 $d_M = 0,961 \text{ K/m}^3$

3472

3473
$$Q_m = 1,69 \sqrt{\frac{1,225}{0,961}} = 1,908 \text{ (l/min)}$$

3474

3475 ¿Cuántos litros se muestrearon?

3476 $Q_M = 1,908 \text{ (l/min)}$

3477 $t_M = 8 \text{ (h)} \times 0,7 = 5,6 \text{ (h)} = 336 \text{ minutos}$

3478

3479
$$V_M = Q_M \times t_M$$

3480
$$V_M = 1,908 \times 336 = 641,088 \text{ (l)}$$

3481

3482

3483 b. ¿Cuál es la relación entre de volúmenes de aire a 2.000 m y a nivel del mar?

3484 **Para 2.000 metros:** $P_M = 596,4 \text{ mm Hg}$
3485 $T_M = 18 \text{ °C} + 273 = 291 \text{ °K}$
3486 $V_M = 641,088 \text{ litros}$
3487 **Para nivel del mar:** $P_c = 760 \text{ mm Hg}$
3488 $T_c = 15 \text{ °C} + 273 = 288 \text{ °K}$
3489 $V_c = ?$

3490

3491
$$\frac{V_m \times P_m}{T_m} = \frac{V_c \times P_c}{T_c}$$

3492

3493
$$\frac{641,088 \times 596,4}{291} = \frac{V_{cal} \times 760}{288}$$

3494

3495
$$V_{cal} = 497,90 \text{ (l)}$$

3496

3497
$$\text{Relacion} = \frac{641,088}{497,90} = 1,29$$

3498

3499 Un volumen de 1 litro a nivel del mar equivale a 1,29 litros a 2.000 metros sobre el nivel del
3500 mar, para una presión atmosférica de 596,4 mm Hg y una temperatura de 18 °C.

3501

3502 c. ¿Cuál es la concentración de cuarzo a nivel del mar y a 2.000 metros?

3503 **A nivel del mar:**

3504
$$\text{Concentracion} = \frac{0,041}{497,90} \times 1000 = 0,082 \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

3505

3506 **A 2.000 metros sobre el nivel del mar:**

3507
$$\text{Concentracion} = \frac{0,041}{641,088} \times 1000 = 0,064 \text{ (mg/m}^3\text{)}$$

3508

3509 9.12 PROCEDIMIENTOS ESPECÍFICOS E INFORMACIÓN NECESARIA PARA UNA EVALUACIÓN

3510 Cada muestreo debe realizarse de acuerdo con los requerimientos específicos establecidos para
3511 garantizar la representatividad y fiabilidad de los resultados, considerando especialmente el
3512 volumen total de muestreo, la duración o tiempo de muestreo, el tipo de cabezal de muestreo,
3513 el volumen o masa mínima de muestra requerida, así como los procedimientos de manipulación,
3514 almacenamiento y transporte de las muestras. El cumplimiento riguroso de estas condiciones es
3515 fundamental para asegurar la validez técnica de la evaluación de la exposición laboral.



3516 Luego, para cada muestreo específico se deberá remitir a lo establecido en el punto 9.12.1,
3517 considerando las sustancias que se desea muestrear. Asimismo, se deberá tener presente lo
3518 detallado en el punto 9.8, 9.9 y 9.10.

3519 Cualquiera sea la sustancia a evaluar, se deberá, además de identificar las muestras, disponer
3520 de la información necesaria para elaborar un Informe Técnico que permita tomar decisiones
3521 efectivas para controlar el agente, ya sea mediante medidas preventivas de tipo ingenieril o
3522 administrativas, y de protección personal respecto del riesgo residual. Asimismo, garantizará la
3523 trazabilidad de la información. A saber:

3524 - Si el muestreo es de tipo personal, nombre del trabajador evaluado, especificando tarea y
3525 actividad que desarrollará. Esto último deberá registrarse al momento de instalarle el Tren
3526 de Muestreo, lo que deberá ser cotejado cuando éste se retire).

3527 - Si el muestreo es del ambiente de trabajo, identificar el área, tarea o actividad que se
3528 evaluará (para tener mayor precisión del lugar donde se ha ubicado el Tren de Muestreo es
3529 recomendable especificar las coordenadas –GPS).

3530 - Volumen total de aire muestreado por cada muestra.

3531 - Tiempo de muestreo por cada muestra.

3532 - Flujo o caudal de muestreo por cada muestra, incluyendo las calibración inicial y final
3533 correspondiente.

3534 - Tipo de muestra (del ambiente o personal).

3535 - Cabezal de muestreo utilizado.

3536 - Turno(s) evaluado(s).

3537 - Ciclos de turno existentes.

3538 - Hora de inicio y término de cada muestra.

3539 - Altura geográfica donde se toma la muestra.

3540 - Altura geográfica donde se han calibrado los Trenes de Muestreo.

3541 - Si las Bombas de muestreo tienen compensación por presión y hasta que altura.

3542 - Las concentraciones parciales encontradas, si se cubre el período total de muestreo con más
3543 de una muestra.

3544 - La concentración promedio ponderada que representa cada muestra.

3545 - Planos, fotografías o croquis de los sitios involucrados en la evaluación.

3546 - Fecha de la realización del muestreo.

3547 - Descripción del número de trabajadores expuestos aplicando el criterio de exposición
3548 similar, la existencia o no de sistemas de control y su condición de funcionamiento,
3549 indicando si éstos son o no conocidos por los trabajadores.

3550 - Si durante el período de evaluación hubo variaciones del nivel de producción, o hubo alguna
3551 condición no habitual o se paralizó por algún tiempo el proceso.

3552 - Si existen ciclos de producción y cuantos cubren un turno de trabajo.

3553 - Rangos de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, especificando la hora en
3554 que se realizan las mediciones. Respecto del viento señalar su dirección y especificar si
3555 existen cambios durante el turno evaluado.

3556 - Registrar la(s) muestra(s) cuyas Bombas de Muestreo se detengan, detallando la causa y la
3557 hora del hecho. En caso que se reinicie el funcionamiento del Tren de Muestreo indicar la
3558 hora respectiva.

3559 - Identificación de quien realiza la o las calibraciones y de quienes participaron en la toma de
3560 muestra(s).

3561 Toda la información mencionada precedentemente no necesariamente deberá incluirse en un
3562 Informe Técnico, pero si quedar registrada en documentos oficiales para efectos de la
3563 trazabilidad de la información.

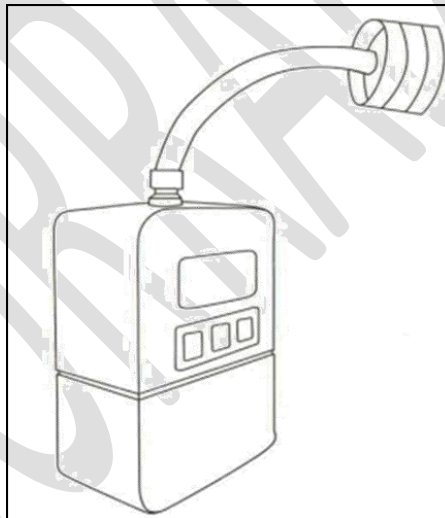
3564

3565 **9.12.1 Muestreos Específicos**

3566 **9.12.1.1 Muestreo de Metales en Aire**

3567 Para el muestreo de polvo y humos de plomo en aire se emplea como cabezal de muestreo un
3568 portafiltro de dos o tres secciones, cerrado, con un filtro de membrana de ésteres de celulosa
3569 (MCE) y de 0.8 micrones (micrómetros) de tamaño de poro.

3570 Para el muestreo del ambiente de trabajo unir el cabezal de muestreo con un trozo de manguera
3571 plástica que no se estrangule al doblarse, y del largo necesario para que el portafiltro quede en
3572 la posición horizontal o ligeramente inclinado hacia abajo como se muestra en la Figura 8-13,
3573 pero siempre cuidando que permanezca a una altura equivalente de la zona respiratoria del
3574 trabajador.



3575

3576 **Figura 9-13.** Tren de Muestreo para Metales en Aire.

3577

3578 Si el muestreo es de tipo personal la manguera de conexión entre la Bomba y el cabezal de
3579 muestreo deberá tener una longitud que permita que este último se ubique lo más cercano
3580 posible a la zona respiratoria del trabajador a evaluar.

3581 La norma UNE-EN 1540:2022. Exposición en el lugar de trabajo. Terminología. Define la zona de
3582 respiración como: el espacio alrededor de la cara del trabajador del que esta toma el aire que
3583 respira. Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente: semiesfera de 0,3 m de
3584 radio que se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro se localiza en el punto
3585 medio del segmento imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano
3586 que contiene dicho segmento, la parte más alta de la cabeza y la laringe.



3587 Para más detalles ver 9.5.:” Instrucciones para el Montaje y Uso de Portafiltro para Filtros
3588 Membrana”, 9.8 “Calibración de Trenes de Muestreo”, 9.9 “Criterios de Calibración para un
3589 Muestreo Representativo” y 9.12.1.6 “Guía para la Toma de Muestras de Agentes Químicos en
3590 Lugares de Trabajo”.

BORRADOR

3591 **9.12.1.2 Muestreo de Polvo de Asbesto**

3592 El cabezal de muestreo para evaluar fibras de asbesto es una capucha antiestática de 50
3593 milímetros de longitud, cuyo(s) filtro(s) de 25 milímetros de diámetro, a montar en su interior,
3594 dependerán de la técnica analítica a utilizar:

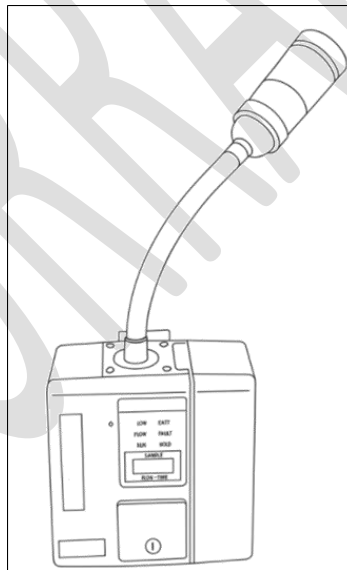
3595 a. Microscopía de Contraste en Fase (PCM): Filtro de membrana de ésteres de celulosa (MEC),
3596 de tamaño de poro de 0,8 – 1,2 micrómetros (recuento de fibras de asbesto u otro tipo de
3597 fibra).

3598 b. Microscopía Electrónica de Transmisión (TEM): Filtro de membrana de ésteres de celulosa
3599 (MEC), de tamaño de poro de 0,45 micrómetros más filtro de cloruro de polivinilo (PVC) de
3600 5 micrómetros de tamaño de poro (fibras de asbesto).

3601 Emplear para muestras del ambiente de trabajo un trozo de manguera plástica que no se
3602 estrangule al doblarse, del largo necesario para que el portafiltro (capucha antiestática) quede
3603 en la posición ligeramente inclinado hacia abajo, como se muestra en la Figura 8.14, pero
3604 siempre cuidando que permanezca a una altura equivalente de la zona respiratoria del
3605 trabajador. Si el muestreo es de tipo personal la manguera de conexión entre la Bomba y el
3606 cabezal de muestreo deberá tener una longitud que permita que este último se ubique lo más
3607 cercano posible a la zona respiratoria del trabajador a evaluar.

3608 Para más detalles ver 9.8 “Calibración de Trenes de Muestreo”, 9.9 “Criterios de Calibración para
3609 un Muestreo Representativo” y 9.12.1.6 “Guía para la Toma de Muestras de Agentes Químicos
3610 en Lugares de Trabajo.

3611



3612

3613

Figura 9-14. Tren de Muestreo para Polvo de Asbesto.

3614

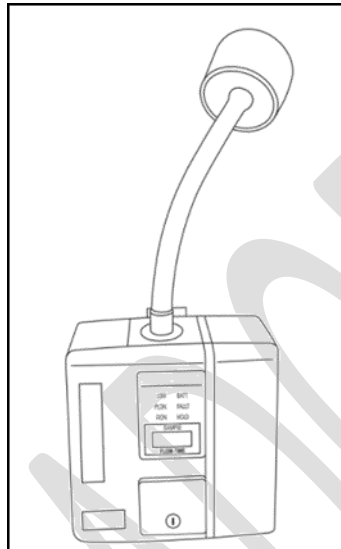
3615 **9.12.1.3 Muestreo de Polvo Total**

3616 Para el muestreo de Polvo Total, se puede utilizar un portafiltro cerrado de dos o tres secciones.
3617 El muestreo se realiza empleando un filtro de cloruro de polivinilo (PVC) con un tamaño de poro
3618 de 5 micrómetros, el cual debe haber sido ambientado y pesado previamente.

3619 Para un muestreo de tipo personal, se deberá utilizar una manguera plástica flexible que no se
3620 estrangule y que permita ubicar el cabezal de muestreo a la altura de la zona respiratoria del

3621 trabajador. En el caso de un muestreo del ambiente de trabajo, el cabezal de muestreo debe
3622 conectarse a la bomba mediante un tramo de manguera plástica de la longitud necesaria para
3623 que el portafiltro quede en posición horizontal o ligeramente inclinado hacia abajo, tal como se
3624 muestra en la Figura 9-15, asegurando siempre que se mantenga a una altura equivalente a la
3625 zona respiratoria del trabajador.

3626



3627

3628

Figura 9-15. Tren de Muestreo para Polvo Total.

3629

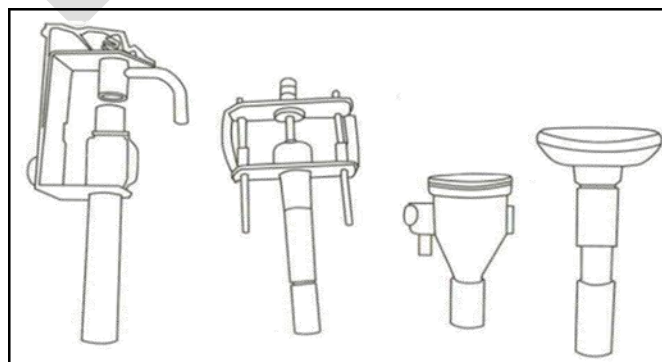
3630 Para mayor información ver 9.5.: "Instrucciones para el Montaje y Uso de Portafiltro para Filtros
3631 Membrana", 9.8.: "Calibración de Trenes de Muestreo", 9.9.: "Criterios de Calibración para un
3632 Muestreo Representativo" y 9.12.1.6.: "Guía para la Toma de Muestras de Agentes Químicos en
3633 Lugares de Trabajo".

3634

3635 **9.12.1.4 Muestreo de Polvo Respirable**

3636 En este tipo de muestreo se utiliza como **cabezal de muestreo** un **ciclón**, en el cual se inserta un
3637 **portafiltro de dos o tres secciones**, cerrado o abierto según el modelo del ciclón empleado.
3638 Estos equipos están diseñados para operar a distintos **caudales de muestreo**, manteniendo
3639 siempre su **punto de eficiencia o de corte del 50%**. (ver Figura 9-16).

3640



3641

3642

Figura 9-16. Ciclones para Muestreo de Polvo Respirable.

3643

3644 El ciclón está diseñado para separar, del polvo total suspendido en el aire, la **fracción respirable**,
3645 correspondiente a las partículas más finas (menores de 4 micrómetros), las cuales quedan
3646 finalmente retenidas en el **filtro de membrana** del portafiltro. Este filtro, fabricado en **PVC**
3647 **(cloruro de polivinilo)** y con un **tamaño de poro de 5 micrones**, debe ser **ambientado y pesado**
3648 **previamente** antes de su utilización.

3649 Asimismo, existen **ciclones diseñados para la recolección de las fracciones inhalable y torácica**,
3650 los cuales realizan el **corte de fracción** conforme al **tipo de convenio o criterio adoptado para**
3651 **la toma de muestras de aerosoles**, en función del **tamaño del material particulado**. Para **mayor**
3652 **información consultar la nota técnica N° 80/2020: “Convenios para la toma de muestra de**
3653 **aerosoles en función del tamaño del material particulado y su relación con los muestreadores**
3654 **para el muestreo selectivo de las diferentes fracciones: Inhalable, torácica y respirable”**.

3655 En el montaje del tren de muestreo y del cabezal de muestreo se deberá considerar los
3656 siguientes aspectos:

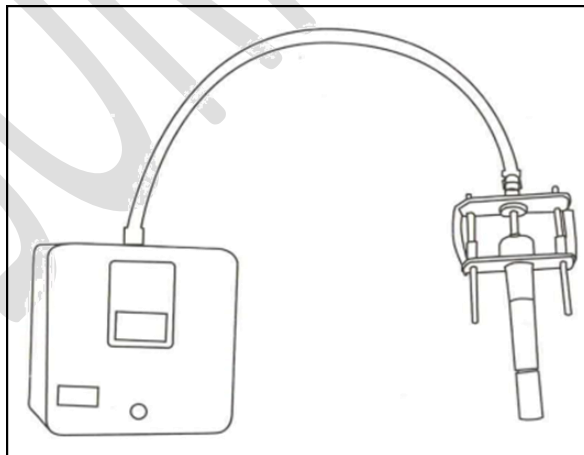
3657 a. Muestreo con portafiltro cerrado:

3658 a.1. Sacar el tapón azul (entrada del aire) y el tapón rojo (salida del aire) del portafiltro
3659 y montar éste en el ciclón. El orificio de la sección superior, de entrada, del
3660 portafiltro se deberá conectar con la copla inferior del ciclón y la sección inferior
3661 del portafiltro, de salida del aire (estriada), con la copla superior de éste (ver
3662 Figura 9-17).

3663 a.2. Apretar bien con los dedos índice y pulgar las dos abrazaderas hasta que todo el
3664 sistema quede herméticamente sellado.

3665 a.3. Conectar el lado libre de la copla superior del ciclón, utilizando una manguera de
3666 plástico que no se estrangule, con la Bomba de muestreo.

3667



3668

Figura 9-17. Montaje Portafiltro Cerrado en Ciclón.

3669

3670

3671 b. Muestreo con portafiltro abierto:

3672 b.1. Remover la sección superior del portafiltro, de entrada, y conectar la sección
3673 inferior, de salida, con el ciclón. Apretar ambas partes hasta que el sistema quede
3674 herméticamente sellado.

3675 b.2. La sección removida del portafiltro, así como la sección conectada al ciclón
3676 deberán tener una misma identificación, para evitar cambios y por ende la
3677 modificación del peso del filtro previamente ambientado y pesado.

3678 b.3. Conectar el orificio de la sección inferior (estriada), utilizando una manguera de
3679 plástico, con la Bomba de muestreo.

3680 **Nota.** Para algunos tipos de ciclones se recomienda montarlos en un soporte de
3681 montaje que permita mantenerlos en posición vertical y en una condición más
3682 estable y segura. Este soporte, además, facilita una sujeción firme,
3683 independientemente del tipo de muestra que se realice
3684

3685 c. El cabezal de muestreo, ya sea el identificado en letra “a” o “b” precedente, tanto para
3686 muestra de tipo personal o del ambiente de trabajo, deberá ubicarse a la altura de la zona
3687 respiratoria del trabajador, asegurando que el ciclón quede en posición vertical.

3688 d. Dado que la **construcción de algunos ciclones** no permite la **calibración del tren de**
3689 **muestreo** según lo descrito en el punto **9.8 “Calibración de Trenes de Muestreo”**, se podrá
3690 proceder de la siguiente manera para realizar la calibración:

3691 d.1. Calibración con Jarra de Calibración:

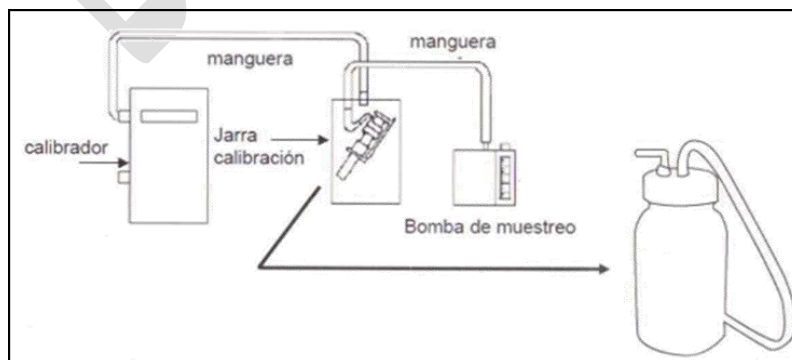
3692 - En general los ciclones que utilizan portafiltro cerrado, el tren de muestreo
3693 debe calibrarse con una Jarra diseñada para este propósito.

3694 - Previo el inicio de la calibración se deberá revisar cuidadosamente que
3695 todas las conexiones y accesorios para este objetivo permitan que el
3696 sistema esté herméticamente sellado.

3697 - Deberá asegurarse que el **ciclón** se mantenga en **posición vertical dentro**
3698 **de la jarra de calibración.**

3699 - La preparación de la muestra Testigo implicará montar y desmontar un
3700 portafiltros en el ciclón, exactamente igual como se prepara un cabezal de
3701 muestreo, pero sin hacer pasar aire por él.

3702 - La Figura 9-18, muestra la instalación del sistema de calibración.
3703



3704

3705

Figura 9-18. Sistema de Calibración con Jarra.



3706

3707

3708

3709

3710

3711

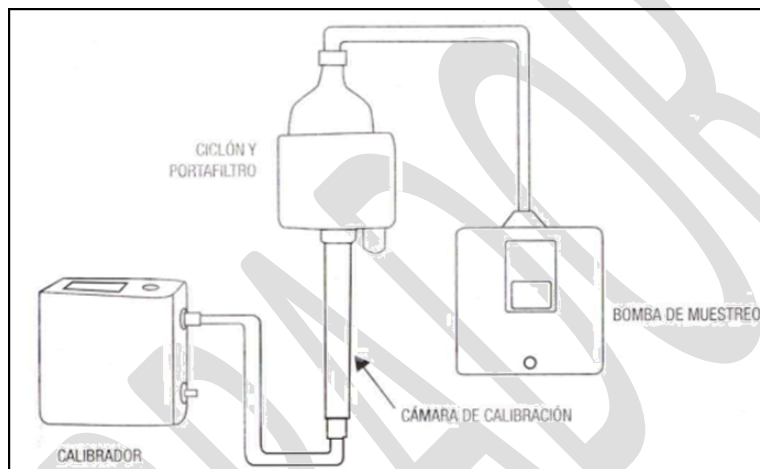
Nota. Es importante tener presente que en el mercado existen calibradores primarios que permiten realizar el proceso de calibración sin necesidad de utilizar una jarra de calibración. En estos casos, se recomienda consultar el manual del fabricante para verificar el procedimiento específico y las condiciones de uso del equipo

BORRADOR

3712 d.2. Calibración con Cámara de Calibración:

- 3713 - **Introducir el cilindro del ciclón en la cámara de calibración**, sin retirar el
3714 depósito de material grueso, asegurándose de que quede **herméticamente**
3715 **sellado**, al igual que todas las demás conexiones.
- 3716 - Mantener el ciclón en posición vertical.
- 3717 - La preparación de la muestra Testigo implicará montar y desmontar un
3718 portafiltros en el ciclón, exactamente igual como se prepara un cabezal de
3719 muestreo, pero sin hacer pasar aire por él.
- 3720 - La Figura 9-19, muestra la instalación del sistema de calibración.

3721



3722

3723

Figura 9-19. Sistema de Calibración con Cámara.

3724

- 3725 e. Tanto en la calibración inicial como en la calibración final del tren de muestreo se deberá
3726 utilizar la misma Bomba y ciclón usados en la toma de la muestra.

3727 **Nota.** El orificio de entrada del aire al ciclón nunca deberá, mientras se toma una muestra,
3728 estar tapado, debiéndose tomar todas las medidas necesarias para que se mantenga en tales
3729 condiciones

3730 Nunca en la limpieza de un ciclón se podrá introducir algún elemento o dispositivo al orificio
3731 de entrada y al interior del cilindro

3732

3733 Ver mayor información en los apartados 9.8 “Calibración de Trenes de Muestreo”, 9.9 “Criterios
3734 de Calibración para un Muestreo Representativo” y 9.12.1.6 “Guía para la Toma de Muestras de
3735 Agentes Químicos en Lugares de Trabajo

3736

3737 **9.12.1.5 Muestreo de Solventes Orgánicos en Aire**

3738 Proceder de la siguiente manera:

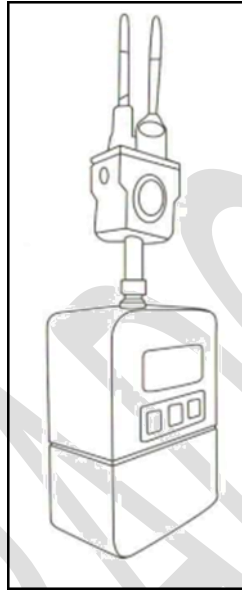
- 3739 a. **Quebrar ambos extremos** del tubo relleno con el material adsorbente utilizando un corta
3740 tubo. Luego, **conectarlo a la manguera** previamente acoplada a la **bomba de muestreo**.

3741 b. En el caso de **tubos con dos columnas de relleno, conecte el tubo por el extremo**
3742 **adyacente a la sección corta** mediante un **trozo de manguera plástica**, asegurando que
3743 quede **en posición vertical**.

3744 Cuando se realiza un muestreo personal o del ambiente de trabajo este tubo deberá quedar
3745 a la altura de la zona respiratoria del trabajador.

3746 c. Ver Figura 8-20 para observar el tren de muestreo.

3747



3748

3749

Figura 9-20. Tren de Muestreo para Solventes Orgánicos en Aire.

3750

3751 Para mayores antecedentes ver los apartados 9.7 “Instrucciones para el Montaje y Uso de Tubo
3752 con Material Adsorbente”, 9.8 “Calibración de Trenes de Muestreo”, 9.9 “Criterios de
3753 Calibración para un Muestreo Representativo” y 9.12.1.6 “Guía para la Toma de Muestras de
3754 Agentes Químicos en Lugares de Trabajo

3755

3756 **9.12.1.6 Guía para Toma de Muestras de Agentes Químicos en Ambientes Laborales**

3757 La **Tabla 9-3**, titulada “*Aspectos a Considerar en la Toma de Muestras de Agentes Químicos en*
3758 *Aire*”, se fundamenta en los requerimientos establecidos por el Laboratorio de Toxicología
3759 Ocupacional del **Instituto de Salud Pública de Chile**, para la realización de análisis de muestras
3760 ambientales*. Esta información deberá complementarse con lo señalado en el **Capítulo IX**,
3761 “*Criterios y Estrategias de Muestreo*”. Para el proceso de toma de muestra, se recomienda
3762 **consultar previamente con el laboratorio responsable del análisis** respecto de las
3763 **consideraciones técnicas requeridas** y del **límite de cuantificación** de la metodología que se
3764 empleará.

3765 * Esta información puede cambiar si se envía la muestra a otro laboratorio o se utiliza otro
3766 método para la toma de muestras.

Tabla 9-3. Aspectos a considerar en la Toma de Muestra de Agentes Químicos en Aire.

AGENTE	ASPECTOS TOMA DE MUESTRA			ASPECTOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	
	MÉTODO REFERENCIAL TOMA DE MUESTRA	CABEZAL DE MUESTREO	CAUDAL DE MUESTREO referencial (L/min)	CONDICIONES ALMACENAMIENTO Y REQUISITOS DE ACEPTACIÓN ESPECÍFICOS	TÉCNICA ANALÍTICA DEL ISP
1,1,1 - Tricloroetano	NIOSH / NMAM 1003, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
1,1,2 - Tricloroetano	NIOSH / NMAM 1003, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Acetato de Etilo	NIOSH / NMAM 1457, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 6 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Acetato de Metilo	NIOSH / NMAM 1458, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	- Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 6 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Acetato de n - Amilo	NIOSH / NMAM 1450, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 7 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Acetato de n - Butilo	NIOSH / NMAM 1450, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	- Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 7 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Acetona	NIOSH / NMAM 1300, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 7 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Ácido Acético	OSHA ID-186SG	Tubo de carbón de coco 8 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 7 días corridos.	Cromatografía Iónica
	OSHA PV2119	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2	0.2	Almacenaje, envío y llegada a destino a	Cromatografía Iónica

		secciones (100/50 mg)		temperatura ambiente en máximo 7 días corridos.	
Ácido Bromhídrico	NIOSH / NMAM 7903, año 1994	Tubo de sílica gel 7 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,2 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
	NIOSH / NMAM 7907, año 2014	Portafiltro de 3 cuerpos, con filtro de cuarzo 37 mm de diámetro, impregnado con carbonato, con prefiltro de cuarzo	2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
Ácido Clorhídrico	NIOSH / NMAM 7903, año 1994	Tubo de sílica gel 7 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,2 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
	NIOSH / NMAM 7907, año 2014	Portafiltro de 3 cuerpos, con filtro de cuarzo 37 mm de diámetro, impregnado con carbonato, con prefiltro de cuarzo	2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
Ácido Fluorhídrico	NIOSH / NMAM 7903, año 1994	Tubo de sílica gel 7 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,2 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
Ácido Fórmico	OSHA ID-186SG	Tubo de carbón de coco 8 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 5 días corridos.	Cromatografía iónica
	NIOSH / NMAM 2011, año 1994	Tubo de carbón de coco 8 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,05-0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 5 días corridos.	Cromatografía iónica
Ácido Nítrico	NIOSH / NMAM 7903, año 1994	Tubo de sílica gel 7 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,2 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica

	NIOSH / NMAM 7907, año 2014	Portafiltro de 3 cuerpos, con filtro de cuarzo 37 mm de diámetro, impregnado con carbonato, con prefiltro de cuarzo	2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
Ácido Sulfúrico	NIOSH / NMAM 7903, año 1994	Tubo de sílica gel 7 x 110 mm, 2 secciones (400/200 mg)	0,2 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
	NIOSH / NMAM 7908, año 2014	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de cuarzo de 37 mm de diámetro	1 - 5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
	OSHA ID-113	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía iónica
Ácido Sulfhídrico	NIOSH / NMAM 6013, año 1994	Tubo de carbón de coco 8 x 100 mm, 2 secciones (400/200 mg), con prefiltro de teflón de 25 mm de diámetro y tamaño de poro 0,45 µm	0,1 - 1,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 5 días corridos.	Cromatografía iónica
Aguarrás Mineral o Varsol	NIOSH / NMAM 1550, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Aguarrás Vegetal o Trementina	NIOSH / NMAM 1550, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Amoniaco	INSST / NTP 62	Un Impinger, con 10 ml de Ácido Sulfúrico al 0,01 N	1,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 5 días corridos.	Espectrofotométrí a UV-Visible

Anhídrido Sulfuroso	NIOSH / NMAM 6004, año 1994	Portafiltro de 3 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm, tratado con carbonato, con prefiltro MEC	0,5 – 1,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 5 días corridos.	Cromatografía Iónica
Arsénico	INSST / MTA/MA-035/A96	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometría a Absorción Atómica/Generación de Hidruros
Asbesto ^(a)	NIOSH / NMAM 7400, año 2019	Capucha antiestática de 50 mm de Longitud, con Filtro MEC de 25 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	0,5 – 16,0 según condiciones ambientales para obtener 100 a 1300 fibras / mm ²	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos.	Microscopía con Contraste de Fase (PCM)
Benceno	NIOSH / NMAM 1501, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	≤ 0,20	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Bencina Blanca	NIOSH / NMAM 1550, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Butanol	NIOSH / NMAM 1405, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Butil Cellosolve	NIOSH / NMAM 1403, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,05	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID

Cadmio	INSST / MTA/MA- 025/A92 ^(b)	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometrías a Absorción Atómica / Horno de grafito
Ciclohexano	NIOSH / NMAM 1500, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Ciclohexanona	NIOSH / NMAM 1300, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Cloroformo	NIOSH / NMAM 1003, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,02 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Cloruro de Metileno (Diclorometano)	NIOSH / NMAM 1005, año 1998	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Cobre	INSST / MTA/MA- 025/A92 ^(b)	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometrías a Absorción Atómica/Horno de grafito
Cromo	INSST / MTA/MA- 025/A92 ^(b)	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometrías a Absorción Atómica/Horno de grafito
Cromo Hexavalente Soluble	NIOSH / NMAM 7604, año 1994	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1-4	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía Iónica

Cromo Hexavalente Insoluble	NIOSH / NMAM 7604, año 1994	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1-4	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía Iónica
Cromo Hexavalente Soluble	NIOSH / NMAM 7600, año 1994	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1-4	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía Iónica
Cromo Hexavalente Insoluble	NIOSH / NMAM 7600, año 1994	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1-4	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía Iónica
Cuarzo y Cristobalita, Además Polvo en Fracción Respirable	NIOSH / NMAM 7500, año 2003	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm, montado en un ciclón	Según Tipo de Ciclón. Volumen de muestreo recomendado: 400 a 1000 litros	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 2 mg de polvo.	Difracción de Rayos X (DRX)
Difenilmetano Disocianato o Metildiisocianato (MDI)	INSST/NTP 116	1 Impinger con 15 ml de Solución (35 ml HCl Concentrado + 22 ml HAc Concentrado Aforado 1L H2O)	1,0	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C), protegido de la luz, en máximo 3 días corridos.	Espectrofotometría a UV-Visible
Estireno o Venilbenceno (Monómero)	NIOSH / NMAM 1501, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	≤ 1	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Etanol	NIOSH / NMAM 1400, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Éter Etilico	NIOSH / NMAM 1610, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10	Cromatografía Gaseosa/Detector FID

		secciones, (100/50 mg)		°C) en máximo 14 días corridos.	
Etil Benceno	NIOSH / NMAM 1501, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	≤ 0,20	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Formaldehído	NIOSH / NMAM 2016, año 2016	Tubo de sílica gel 6 x 110 mm, 2 secciones, recubierto con 2,4 DNPH (300/150 mg)	0,03 – 1,5	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 5 días corridos.	Cromatografía Líquida/Detector UV-Visible
Gasolina con Menos de 5% de Benceno	NIOSH / NMAM 1550, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Glutaraldehído	NIOSH / NMAM 2532, año 1994	Tubo de sílica gel 6 x 110 mm, 2 secciones, recubierto con 2,4 DNPH (300/150 mg)	0,05 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía Líquida/Detector UV-Visible
Halotano	INSST MTA/MA- 046/A00	Tubo carbón sintético 6 x 70 mm, 2 secciones (140/70 mg)	≤ 0.05	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 7 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Hexano	NIOSH / NMAM 1500, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Isoflurano	INSST MTA/MA- 046/A00	Tubo carbón sintético 6 x 70 mm, 2 secciones (140/70 mg)	≤ 0,05	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 7 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Isopropanol	NIOSH / NMAM 1400, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/ Detector FID
Manganeso	INSST / MTA/MA- 025/A92 ^(b)	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos.	Espectrofotometr a Absorción Atómica/Horno de grafito

		tamaño de poro 0,8 µm		Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	
Mercurio	EPA 101A, año 2017	2 Impinger con 15 ml de permanganato de potasio 0,8 mM en Ácido Sulfúrico al 5%	Muestreo isocinético en la fuente	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 2 días corridos.	Espectrofotometría a Absorción Atómica/Generación de Hidruros
Metanol	NIOSH / NMAM 2000, año 1998	Tubo de sílica gel 6 x 70 mm, 2 secciones (100/50 mg)	0,02 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Metil Etil Cetona	NIOSH / NMAM 1300, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Metil Isobutil Cetona	NIOSH / NMAM 1300, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Metil n-Butil Cetona	NIOSH / NMAM 1300, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Molibdeno	INSST / MTA/MA-025/A92 ^(b)	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometría a Absorción Atómica/Horno de grafito
Nafta de Petróleo	NIOSH / NMAM 1550, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 21 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Negro de Humo	NIOSH / NMAM 5100, año 2015	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1,0 - 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 5 mg de polvo.	Gravimetría

Níquel	INSST / MTA/MA- 025/A92 ^(b)	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro MEC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometr a Absorción Atómica/ Llama
Óxido de Etileno	OSHA 1010	Tubo de carbón activo 6 x 70 mm, recubierto con HBr, 2 secciones (100/50 mg)	0,02 – 0,5	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector ECD
Plomo	INSST / MTA/MA- 025/A92 ^(b)	Portafiltro de Dos Cuerpos con MEC, 37mm de diámetro, 0,8 µm Tamaño de Poro	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometr a Absorción Atómica/Horno de grafito
Polvo de Granos (Cereales)	NIOSH / NMAM 501, año 2015	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC de 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1 – 2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 5 mg de polvo.	Gravimetría (Total)
Polvo de Maderas Coníferas	NIOSH / NMAM 501, año 2015	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC, 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1 – 2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 5 mg de polvo.	Gravimetría (Total)
Polvo de Maderas Otros Tipos	NIOSH / NMAM 501, año 2015	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC, 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1 – 2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 5 mg de polvo.	Gravimetría (Total)
Polvo Fracción Respirable	NIOSH / NMAM 600, año 1998	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC, 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm, Montado en un Ciclón	Según Tipo de Ciclón	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 2 mg de polvo.	Gravimetría (Fracción Respirable)

Polvo Total	NIOSH / NMAM 501, año 2015	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC, 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1 – 2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 5 mg de polvo.	Gravimetría (Total)
Recuento de Fibras	NIOSH / NMAM 7400, año 2019	Capucha de 50 mm de longitud, con filtro MEC de 25 mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	0,5 – 16,0 según condicione s ambientale s para obtener 100 a 1300 fibras / mm ²	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos.	Microscopía con Contraste de Fase (PCM)
Sevoflurano	INSST MTA/MA- 046/A00	Tubo carbón sintético 6 x 70 mm, 2 secciones (140/70 mg)	≤ 0,05	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 7 días corridos.	Cromatografía gaseosa/detector FID
Talco no Fibroso	NIOSH / NMAM 600, año 1998	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC, 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	Según Tipo de Ciclón	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 2 mg de polvo.	Gravimetría (Fracción Respirable)
Tetracloroetilen o o Percloroetileno	NIOSH / NMAM 1003, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Tetracloruro de Carbono	NIOSH / NMAM 1003, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Tetrahidrofuran o	NIOSH / NMAM 1609, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Tolueno Diisocianato (TDI)	Insst/NTP 58: Toma de muestras de 2,4- toluendiisoci anato (TDI)	1 Impinger con 15 ml de Solución (35 ml HCl Concentrado + 22 ml HAc Concentrado, Aforado 1L	1,0	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C), protegido de la luz, en máximo 3 días corridos.	Espectrofotometr a UV-Visible

		Agua Destilada)			
Tolueno	NIOSH / NMAM 1501, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	≤ 0,20	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Tricloroetileno	NIOSH / NMAM 1022, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	0,01 – 0,2	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 14 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Xileno	NIOSH / NMAM 1501, año 2003	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, 2 secciones, (100/50 mg)	≤ 0,20	Almacenaje, envío y llegada a destino en cadena de frío (2 °C a 10 °C) en máximo 30 días corridos.	Cromatografía Gaseosa/Detector FID
Yeso (Sulfato de Calcio)	NIOSH / NMAM 501, año 2015	Portafiltro de 2 cuerpos, con filtro de PVC, 37 mm de diámetro y tamaño de poro 5 µm	1 – 2	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Máximo 5 mg de polvo.	Gravimetría (Total)
Yodo	NIOSH / NMAM 6005, año 1994	Tubo de carbón de coco 6 x 70 mm, tratado con hidróxido de potasio, 2 secciones (100/50 mg)	0,5 – 1,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 10 días corridos.	Cromatografía Iónica
Zinc	INSST / MTA/MA-025/A92 ^(b)	Portafiltro de dos cuerpos, con filtro MEC de 37mm de diámetro y tamaño de poro 0,8 µm	1,0 – 2,0	Almacenaje, envío y llegada a destino a temperatura ambiente en máximo 30 días corridos. Solicitar máximo 4 analitos por filtro.	Espectrofotometría a Absorción Atómica/ Llama

3768 Fuente: Laboratorio Toxicología Ocupacional, Departamento de Salud Ocupacional, ISP

3769

3770 En cuanto a los requisitos de aceptación de la muestra:

- 3771 - Las muestras deben estar clara e inequívocamente identificadas.
- 3772 - Cada muestra o lote de muestras debe venir acompañada del Testigo respectivo.
- 3773 - Se debe usar el cabezal de muestreo indicado y con fecha de expiración vigente.
- 3774 - Los cabezales de muestreo deben venir en cajas, maletines u otros envases,
- 3775 convenientemente protegidos con el fin de asegurar su integridad.



3776

3777 En el caso particular de toma de muestra con filtros:

3778 - El filtro no debe contener polvo suelto o el filtro roto.

3779 En el caso particular de tubos:

3780 - Revisar que los extremos del tubo tengan tapones de polietileno u otro material indicado
3781 por el laboratorio (nunca utilizar tela o cinta adhesiva), sin fisuras y que estén
3782 empaquetados en forma segura.

3783 - No sacar los tapones en ninguna circunstancia.

3784

3785 ^(a) Para el agente Asbesto, la técnica analítica recomendada no discrimina entre tipos de fibras de
3786 asbesto y otras; no obstante, es la técnica analítica estandarizada y aceptada internacionalmente
3787 para el recuento de fibras de asbesto.

3788 ^(b) Se hace referencia a la metodología antigua que es la que indica cabezal y caudal de muestreo.

3789 **CAPITULO X**

3790 **ESTRATEGIA Y CRITERIOS DE MUESTREO PARA AGENTES QUIMICOS**

3791

3792

3793 **10.1. INTRODUCCIÓN**

3794 En higiene ocupacional se han desarrollado criterios y estrategias para asegurar que la toma de
3795 muestras, la interpretación de resultados y la toma de decisiones se realicen de manera sistemática
3796 y confiable. Su aplicación permite evaluar la exposición de la población trabajadora de forma
3797 representativa y orientar la implementación de medidas de control eficaces.

3798 Las concentraciones de contaminantes en el ambiente pueden obtenerse mediante lectura directa
3799 o, más comúnmente, a través de un análisis posterior realizado en el Laboratorio de Higiene
3800 Ocupacional.

3801 Tanto las empresas, asesoradas por sus expertos, como la Autoridad Sanitaria y los Organismos
3802 Administradores de la Ley N°16.744, deben interpretar los valores obtenidos para determinar su
3803 significado en relación con la salud de la población trabajadora.

3804 En este contexto, el primer objetivo de la evaluación es caracterizar el ambiente que rodea al
3805 trabajador. No obstante, existen otros propósitos relevantes, como evaluar el desempeño de
3806 equipos de control, investigar relaciones causa-efecto, atender reclamos gremiales, detectar fugas
3807 o determinar la distribución de un contaminante en el lugar de trabajo, entre otros.

3808

3809 **CUESTIONARIO QUE DEBE RESOLVERSE PARA GARANTIZAR EL MUESTREO Y LA DECISION**

- 3810 1. ¿Cuál o cuáles trabajadores deben ser muestreados?
- 3811 2. ¿Se utilizará el criterio de Grupos de Exposición Similar para elegir los trabajadores
3812 a muestrear?
- 3813 3. ¿Dónde debe situarse el sistema de muestreo?
- 3814 4. ¿Cuántas muestras es necesario tomar en un día?
- 3815 5. ¿Cuánto debe durar el período de muestreo?
- 3816 6. ¿Qué períodos durante la jornada deben ser muestreados?
- 3817 7. ¿Cuántos días debe repetirse el muestreo?
- 3818 8. ¿Qué influencia tienen los errores de los instrumentos sobre el resultado?
- 3819 9. ¿La exposición promedio de un trabajador está en cumplimiento con la norma
3820 (Límite Permisible Ponderado en 8 horas o con el Límite Permisible Temporal o con
3821 el Límite Permisible Absoluto) en un día particular?
- 3822 10. ¿Cuál será la exposición a largo plazo, basado en una estimación de mediciones
3823 promedio diarias?

- 3824 **11.** ¿Qué porcentaje de días estará un trabajador expuesto a concentraciones sobre la
3825 norma, en base a la inferencia sobre algunos días muestreadas?
- 3826 **12.** ¿Deberían instalarse controles ingenieriles a fin de reducir una exposición excesiva?
3827

BORRADOR

3828 **10.1. TIPO DE MUESTRAS**

3829 **10.1.1. Según el Tiempo de Muestreo**

- 3830 a. Muestras instantáneas que duran desde segundos hasta 30 minutos.
- 3831 b. Muestras integradas correspondientes a períodos superiores a 30 minutos y que
- 3832 pueden abarcar hasta una jornada completa de trabajo.

3833

3834 **10.1.2. Según la Ubicación del Sistema de Muestreo**

- 3835 a. Personal: el equipo se instala en la zona respiratoria del trabajador, quien lo porta de
- 3836 manera continua durante toda la jornada laboral o durante un período representativo
- 3837 de esta. Este tipo de muestreo es el de mayor relevancia, ya que se emplea para
- 3838 verificar el cumplimiento de los límites permisibles.

- 3839 b. Ambiente: el equipo de muestreo es colocado en una posición fija representativa del
- 3840 ambiente general del trabajo o se utiliza para realizar un barrido completo de la zona.
- 3841 El cabezal de muestreo se ubica a la altura de la zona respiratoria de los trabajadores.

3842

3843 **10.1.3. Según la Estrategia Elegida**

3844 **10.1.3.1. Consecutivas de Período Completo (Varias Muestras Durante el Período o Jornada)**

- 3845 a. Es la mejor estrategia.
- 3846 b. Conduce a límites de confianza más precisos para la estimación de la exposición.
- 3847 c. Varias muestras mejoran el resultado, pero sube el costo, especialmente los análisis.
- 3848 d. El número adecuado y óptimo de muestras es de cuatro, con una duración de dos horas
- 3849 cada una.

3850 **10.1.3.2. Única de Período Completo**

- 3851 a. Es menos confiable que la anterior.
- 3852 b. Es conveniente si el muestreo es apropiado y se eliminan errores al inicio y término de
- 3853 la muestra.
- 3854 c. Deben eliminarse pérdidas por arrastre, saturación o colmatación de los cabezales de
- 3855 muestreo, desarrollo de altas temperaturas, cambios de presión, etc.
- 3856 d. Los errores sistemáticos y aleatorios pueden influir en un solo sentido.
- 3857 e. Considerando todos los factores, esta técnica resulta equivalente a tomar dos muestras
- 3858 de cuatro horas cada una durante la jornada laboral.

3859 **10.1.3.3. Consecutivas de Período Parcial**

- 3860 a. El mayor problema es cómo evaluar el tiempo no muestreado.
- 3861 b. El resultado es válido para el tiempo muestreado.
- 3862 c. La inferencia al período total debe basarse en un buen criterio o experiencia.

3863 d. Si se supone que el período no muestreado tiene la misma concentración que el
3864 muestreado, el valor estimado para la jornada laboral será únicamente aproximado.

3865 e. Debe muestrearse, a lo menos, un 70% de la jornada diaria de trabajo.

3866 **10.1.3.4. Instantáneas**

3867 a. La incertidumbre o no cumplimiento de la metódica anterior hace necesario este
3868 procedimiento.

3869 b. Es la estrategia menos recomendable y solo adecuada para verificar Límite Permissible
3870 Absoluto.

3871 c. Los límites de confianza son a veces muy amplios.

3872 d. El número mínimo de muestras varía de 4 a 7; lo óptimo es de 8 a 11.

3873 e. Se aplica cuando las condiciones ambientales se mantienen relativamente estables.

3874 f. Si las condiciones varían mucho, deben tomarse muestras en cada período estable,
3875 siempre de 8 a 11 muestras y proporcional a la duración del período.

3876 g. Si no se utilizan tubos colorimétricos u otro método de lectura directa, el tiempo de
3877 muestreo queda principalmente determinado por el “Mínimo Requerido” para el
3878 análisis, siendo innecesario prolongarlo más allá de este.

3879 h. Una muestra de 30 minutos ofrece una mejor representatividad que una de 10 minutos.

3880 i. En este caso, lo ideal es realizar el muestreo de forma aleatoria.

3881 **10.1.3.5. Para Cumplimiento de Limite Permissible Temporal**

3882 Para demostrar no cumplimiento respecto de los Límites Permisibles Temporales se
3883 debe planificar una estrategia de muestreo considerando los siguientes aspectos:

3884 a. En primer lugar, el muestreo debe realizarse de manera dirigida, identificando las etapas
3885 del proceso productivo con mayores concentraciones. Se debe muestrear durante 15
3886 minutos y tomar como mínimo tres muestras, seleccionando el valor más alto para la
3887 toma de decisiones, considerándose este como representativo de todo el período.

3888 b. Si lo anterior no es posible, debido a que no se conocen los momentos de mayor
3889 concentración, el muestreo se realiza de forma aleatoria, seleccionando
3890 estadísticamente un número determinado de períodos de 15 minutos cada uno entre
3891 las horas de trabajo de la jornada laboral.

3892 Cada periodo de 15 minutos se puede evaluar con una o varias muestras, tal como se
3893 hace para los Límites Permisibles Ponderados en el tiempo.

3894 En general, se pueden identificar dos estrategias para la situación “b”: una que asume
3895 que se han muestreado los momentos de concentración potencialmente más alta, y otra
3896 que parte de que no se han muestreado dichos momentos, realizando la inferencia
3897 correspondiente.

3898 **Ejemplo:** Procedimiento para la selección de los períodos, según lo detallado en “b”:

3899 1. Para el Límite Permissible Temporal (LPT) hay 32 períodos, para una jornada de
3900 8 horas, de acuerdo a lo detallado en “b”:



3901

3902

3903

$$N = \frac{8 \times 60}{15} = 32$$

BORRADOR

3904 Luego se enumeran los “n” intervalos, desde 1, 2, 3... hasta N en relación al tiempo de trabajo:

Período	Intervalo
1	08:00 – 08:15 Horas
2	08:15 – 08:30 Horas
“	“
“	“
“	“
15	11:30 – 11:45 Horas
16	11:45 – 12:00 Horas
“	“
“	“
“	“
32	15:45 – 16:00 Horas

3905

3906

3907

3908

2. Se utiliza la Tabla 10-1 para determinar cuántos intervalos deben muestrearse, en función del porcentaje estimado de concentración más alta (10 a 20 %) y del nivel de confianza que se desea alcanzar para identificar dicha concentración máxima.

3909

Tabla 10-1. Periodo de 15 Minutos

Un Periodo de Alta concentración	Nivel de confianza	Muestreo mínimo
Limite 20%	90%	9 periodos
Limite 20%	95%	11 periodos
Limite 10%	90%	16 periodos
Limite 10%	95%	19 periodos

3910

3911

3912

Por ejemplo, si se estima un periodo de alta concentración del 20% y un nivel de confianza del 90%, se deben muestrear 9 periodos a lo largo de una jornada laboral de 8 horas.

3913

3914

3. Existen tablas para períodos de 10 y 15 minutos.

3915

3916

Tabla 10-2. *Tabla de Números Aleatorios para Seleccionar los Periodos a Ser Muestreados*

3917

46	96	85	77	27	92	86	26	45	21	89	91	71	42	64	64	58	22	75	81	74	91	48	46	18
44	19	15	32	63	55	87	77	33	29	45	00	31	34	84	05	72	90	44	27	78	22	07	62	17
34	39	80	62	24	33	81	67	28	11	34	79	26	35	34	23	09	94	00	80	55	31	63	27	91
74	97	80	30	65	07	71	30	01	84	47	45	89	70	74	13	04	90	51	27	61	34	63	87	44
22	14	61	60	86	38	33	71	13	33	72	08	16	13	50	56	48	51	29	48	30	93	45	66	29
40	03	96	40	03	47	24	60	09	21	21	18	00	05	86	52	85	40	73	73	57	68	36	33	91
52	33	76	44	56	15	47	75	78	73	78	19	87	06	98	47	48	02	62	03	42	05	32	55	02
37	59	20	40	93	17	82	24	19	90	80	87	32	74	59	84	24	49	79	17	23	75	83	42	00
11	02	55	57	48	84	74	36	22	67	19	20	15	92	53	37	13	75	54	89	56	73	23	39	07
10	33	79	26	34	54	71	33	89	74	68	48	23	17	49	18	81	05	52	85	70	05	73	11	17
67	59	28	25	47	89	11	65	65	20	42	23	96	41	64	20	30	89	87	64	37	93	36	96	35
93	50	75	20	09	18	54	34	68	02	54	87	23	05	43	36	98	29	97	93	87	08	30	92	98
24	43	23	72	80	64	34	27	23	46	15	36	10	63	21	59	69	76	02	62	31	62	47	60	34
39	91	63	18	38	27	10	78	88	84	42	32	00	97	92	00	04	94	50	05	75	82	70	80	35
74	62	19	67	54	18	28	92	33	69	98	96	74	35	72	11	68	25	08	95	31	79	11	79	54
91	03	35	60	81	16	61	97	25	14	78	21	22	05	25	47	26	37	80	39	19	06	41	02	00
42	57	66	76	72	91	03	63	48	46	44	01	33	53	62	28	80	59	55	05	02	16	13	17	54
06	36	63	06	15	03	72	38	01	58	25	37	66	48	56	19	56	41	29	28	76	49	74	39	50
92	70	96	70	89	80	87	14	25	49	25	94	62	78	26	15	41	39	48	75	64	69	61	06	38
91	08	88	53	52	13	04	82	23	00	26	36	47	44	04	08	84	80	07	44	76	51	52	41	59
68	85	97	74	47	53	90	05	90	84	87	48	25	01	11	05	45	11	43	15	60	40	31	84	59
59	54	13	09	13	80	42	29	63	03	24	64	12	43	28	10	01	65	62	07	79	83	05	59	61
39	18	32	69	33	46	58	19	34	03	59	28	97	31	02	65	47	47	70	39	74	17	30	22	65
67	43	31	09	12	60	19	57	63	78	11	80	10	97	15	70	04	89	81	78	54	84	87	83	42
61	75	37	19	56	90	75	39	03	56	49	92	72	95	27	52	87	47	12	52	54	62	43	23	13
78	10	91	11	00	63	19	63	74	58	69	03	51	38	60	36	53	56	77	06	69	03	89	91	24
93	23	71	58	09	78	08	03	07	71	79	32	25	19	61	04	40	33	12	06	78	91	97	88	95
37	55	48	82	63	89	92	59	14	72	19	17	22	51	90	20	03	64	96	60	48	01	95	44	84
62	13	11	71	17	23	29	25	13	85	33	35	07	69	25	68	57	92	57	11	84	44	01	33	66

29	89	97	47	03	13	20	86	22	45	59	98	64	53	89	64	94	81	55	87	73	81	58	46	42
16	94	85	82	89	07	17	30	29	89	89	80	98	36	25	36	53	02	49	14	34	03	52	09	20
04	93	10	59	75	12	98	84	60	93	68	16	87	60	11	50	46	56	58	45	88	72	50	46	11
95	71	43	68	97	18	85	17	13	08	00	50	77	50	46	92	45	26	97	21	48	22	23	08	32
86	05	39	14	35	48	68	18	36	57	09	62	40	28	87	08	74	79	91	08	27	12	43	32	03
59	30	60	10	41	31	00	69	63	77	01	89	94	60	19	02	70	88	72	33	38	88	20	60	86
05	45	35	40	54	03	98	96	76	27	77	84	80	08	64	60	44	34	54	24	85	20	85	77	32
71	85	17	74	66	27	85	19	55	56	51	36	48	92	32	44	40	47	10	38	22	52	42	29	96
80	20	32	80	98	00	40	92	57	51	52	83	14	55	31	99	73	23	40	07	64	54	44	99	21
13	50	78	02	73	39	66	82	01	28	67	51	75	66	33	97	47	58	42	44	88	09	28	58	06
67	92	65	41	45	36	77	96	46	21	14	39	56	36	70	15	74	43	62	69	82	30	77	28	77
72	56	73	44	26	04	62	81	15	35	79	26	99	57	28	22	25	94	80	62	95	48	98	23	86
28	86	85	64	94	11	58	78	45	36	34	45	91	38	51	10	68	36	87	81	16	77	30	19	36
69	57	40	80	44	94	60	82	94	93	98	01	48	50	57	69	60	77	69	60	74	22	05	77	17
71	20	03	30	79	25	74	17	78	34	54	45	04	77	42	59	75	78	64	99	37	03	18	03	36
89	98	55	98	22	45	12	49	82	71	57	33	28	69	50	59	15	09	25	79	39	42	84	18	70
58	74	82	81	14	02	01	05	77	94	65	57	70	39	42	48	56	84	31	59	18	70	41	74	60
50	54	73	81	91	07	81	26	25	45	49	61	22	88	41	20	00	15	59	93	51	60	65	65	63
49	33	72	90	10	20	65	28	44	63	95	86	75	78	69	24	41	65	86	10	34	10	32	00	93
11	85	01	43	65	02	85	69	56	88	34	29	64	35	48	15	70	11	77	83	01	34	82	91	04
34	22	46	41	84	74	27	02	57	77	47	93	72	02	95	63	75	74	69	69	61	34	31	92	13

3918 **Fuente:** *Occupational Exposure Sampling Strategy Manual*

3919

3920 **10.2. REPRESENTACION GRAFICA DE LAS DIFERENTES ESTRATEGIAS DE MUESTREO**

3921 En la figura 10-1 se puede observar en forma esquemática las estrategias de muestreo.

- 3922 a. Los tres primeros grupos se aplican al período indicado, es decir, al menos el 70 % de la
- 3923 jornada de trabajo para el promedio ponderado en el tiempo, o 15 minutos para el Límite
- 3924 Permisible Temporal.
- 3925 b. Al muestrear un período parcial, la muestra debe abarcar como mínimo un 70% de la
- 3926 jornada diaria de trabajo.
- 3927 c. El muestreo puntual (aleatorio) se aplica principalmente cuando se cubre menos del 70 %
- 3928 del tiempo de la jornada diaria de trabajo, pero debe comprender al menos dos horas de
- 3929 duración.

3930

3931 **10.3. ESTUDIOS ESTADISTICOS SOBRE MUESTREO DE AMBIENTE DE TRABAJO**

3932 Se puede utilizar los siguientes:

3933 a. Muestra único período completo establecido en la norma o al menos el 70% de la jornada
3934 diaria de trabajo.

3935 b. Muestras consecutivas correspondientes a un período completo de al menos el 70 % de la
3936 jornada de trabajo, aplicables tanto a situaciones de exposición uniforme como no
3937 uniforme.

3938 c. Muestras consecutivas período parcial, para Fiscalizadores solamente.

3939 d. Muestras instantáneas, menos de 30, para el período establecido en la norma (escogidos al
3940 azar), y no se admiten valores cero.

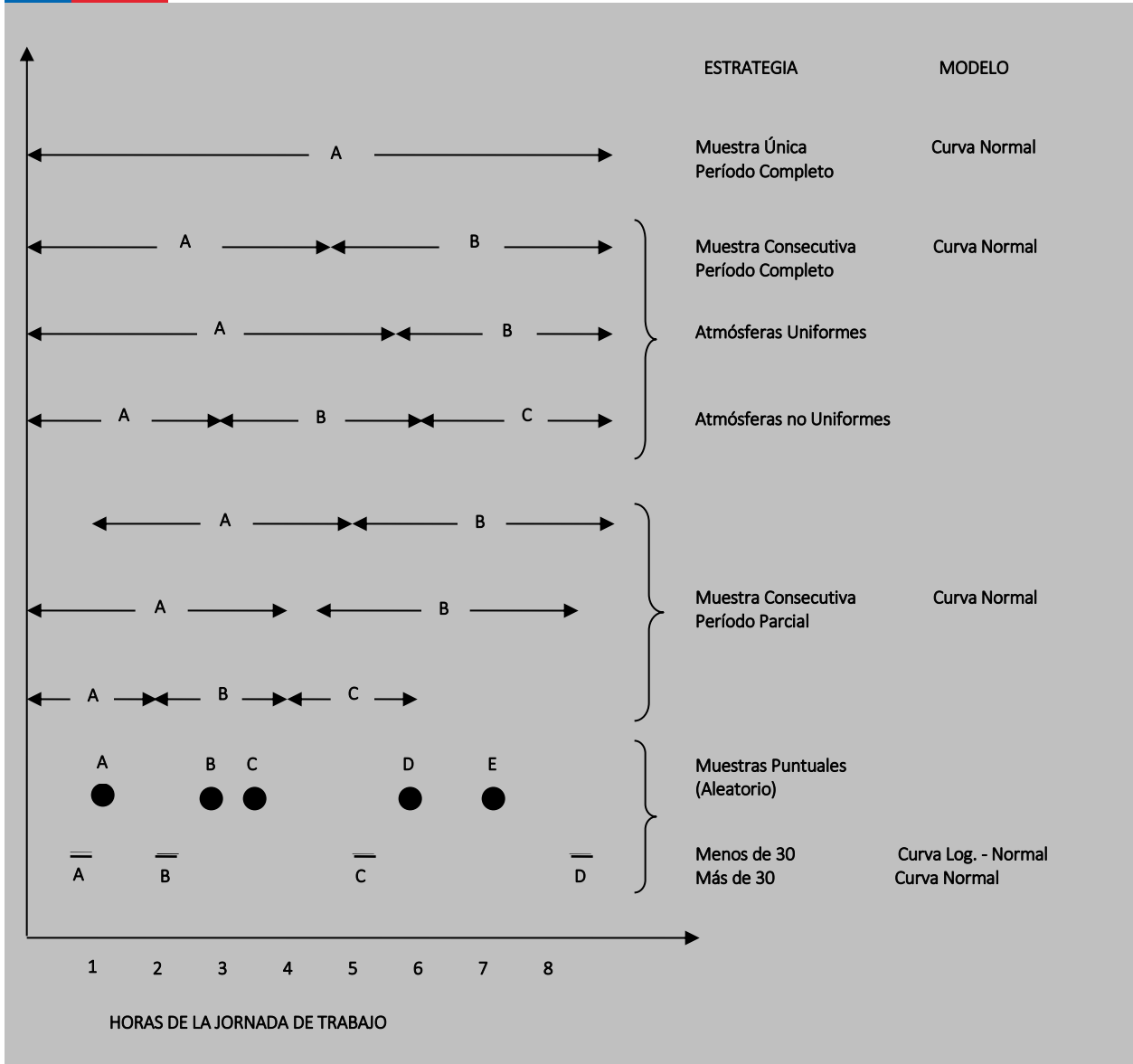
3941 e. Muestras instantáneas, para más de 30, y se acepta valor cero.

3942 f. Muestras para Límite Permisible Temporal, tomadas durante los momentos de mayor
3943 concentración esperada.

3944 g. Si lo establecido en la letra "f" cumple con los límites establecidos, pero no cubre todos los
3945 períodos en que podrían haberse producido exposiciones elevadas, debe asumirse que
3946 existieron intervalos no muestreados con concentraciones potencialmente altas. En tal
3947 caso, se deberá repetir el muestreo aplicando la estrategia definida para la evaluación de
3948 períodos no muestreados, conforme a lo señalado en la página 64 del *Occupational*
3949 *Exposure Sampling Strategy Manual* (NIOSH, 1977).

3950 h. Muestras para Límite Permisible Temporal aleatorias, al no esperar momentos de alta
3951 concentración.

3952



3953

3954

3955

Figura 10-1. Representación Gráfica de los Muestreos.

3956 **10.4. CONSIDERACIONES PREVIAS PARA LA SELECCIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MUESTREO**

- 3957 a. Disponibilidad y costo del equipo de muestreo (bombas, filtros, tubos detectores, etc.).
- 3958 b. Disponibilidad, costo y facilidad del procedimiento analítico (filtros, tubos adsorbentes,
- 3959 etc.).
- 3960 c. Disponibilidad y costo del personal que toma las muestras.
- 3961 d. Localización de los trabajadores y operaciones involucradas.
- 3962 e. Variación de la exposición ocupacional (durante el día y entre días)
- 3963 f. Precisión y exactitud de los métodos de muestreo y análisis.
- 3964 g. Número de muestras requeridas para alcanzar la precisión deseada en la estimación de la
- 3965 exposición.

3966 La precisión y exactitud de los métodos de muestreo y análisis están determinadas previamente en

3967 la mayoría de los procedimientos recomendados por NIOSH, los cuales suelen presentar coeficientes

3968 de variación en el rango del 5 % al 10 %.

3969

3970 **10.5. FUENTES PRIMARIAS DE VARIACION QUE AFECTA LA ESTIMACIÓN DE LOS PROMEDIOS DE**

3971 **EXPOSICIÓN OCUPACIONAL**

- 3972 a. Errores aleatorios del equipo de muestreo (fluctuaciones de flujo).
- 3973 b. Errores aleatorios del método analítico (fluctuaciones de procesamiento).
- 3974 c. Fluctuaciones ambientales, durante el día, de la concentración del agente.
- 3975 d. Fluctuaciones ambientales, entre días, de la concentración del agente.
- 3976 e. Errores sistemáticos originados en los procesos de medición, tales como calibraciones
- 3977 incorrectas, uso inadecuado del equipo o fallas en la recopilación de datos, entre otros.
- 3978 f. Cambios sistemáticos en la concentración del contaminante, provocados por el
- 3979 desplazamiento del trabajador entre zonas con distintos niveles de exposición o por las
- 3980 variaciones en el funcionamiento de los sistemas de ventilación.

3981 Respecto a lo señalado anteriormente se debe tener presente:

- 3982 a. Que a) a d) se aminoran estadísticamente.
- 3983 b. Que e) y f) se deben a fallas humanas y deben corregirse.
- 3984 c. Que para a) y b) se debe tener presente lo indicado en Apéndice D, del “Occupational
- 3985 Exposure Sampling Strategy Manual”.
- 3986 d. Que c) y d) son variaciones del proceso físico y de las formas físicas del contaminante (polvo,
- 3987 gas, niebla, etc.).

3988

3989 **10.6. CANTIDAD DE MUESTRA**

3990 El volumen mínimo de aire muestreado está dado por la fórmula:

3991

3992
$$V_M = \frac{S \times 22,4 \times 760 \times (273 + t) \times 10^6}{PM \times LPP \times P \times 273}$$

3993

3994 V_M = Volumen Mínimo

3995 S = Mínimo de contaminantes a llevar al Laboratorio de Análisis y depende de la
3996 sensibilidad del método analítico (gramos).

3997 PM = Peso Molecular (g - mol)

3998 LPP = Límite Permissible Ponderado (p.p.m.)

3999 P = Presión barométrica del lugar (mm Hg)

4000 t = Temperatura del aire (°C)

4001

4002 Para condiciones de presión y temperatura corriente en las industrias, se adopta la fórmula simple:

4003

4004
$$V_M = \frac{S \times 1000}{LPP}$$

4005

4006 S = Miligramos del agente

4007 LPP = mg/m^3

4008

4009 **10.7. ELECCION DE LOS TRABAJADORES A MUESTREAR**

4010 **a.** El procedimiento de menor costo es identificar al trabajador o un grupo de trabajadores de
4011 acuerdo al criterio de "exposición similar", teniendo presente, para estos últimos, los siguientes
4012 aspectos:

4013 **a.1.** Muestrear al trabajador, que, dentro de ese grupo, se presume tiene la más alta
4014 exposición al agente.

4015 **a.2.** Si existen diferentes procesos, deben seleccionarse aquellos que presenten las
4016 exposiciones más altas en cada uno de ellos.

4017 **a.3.** De acuerdo al resultado obtenido, extender el muestreo a la totalidad de los trabajadores,
4018 o bien paralizar el muestreo hasta una nueva ocasión, ante cambios en el proceso o de las
4019 medidas de control.

4020 **a.4.** Algunas orientaciones para identificar a los trabajadores con mayores niveles de
4021 exposición son las siguientes:

- 4022 **a.4.1.** *Distancia a la fuente generadora del agente:* Puede haber dilución por dispersión
4023 en el área de trabajo.
- 4024 **a.4.2.** *Movilidad del trabajador:* Esto puede motivar que el trabajador no se encuentre
4025 presente cuando existan concentraciones altas en la fuente generadora del
4026 agente.
- 4027 **a.4.3.** *Movimiento del aire:* Generalmente, en procesos que envuelven calor o
4028 combustión, la circulación del aire puede ser tal, que el trabajador a la máxima
4029 concentración puede estar ubicado a una distancia considerable de la fuente. Se
4030 deben considerar, además, los sistemas de extracción, las puertas y ventanas
4031 existentes.
- 4032 **a.4.4.** *Diferentes hábitos de trabajo:* Aun cuando varios trabajadores efectúan la misma
4033 labor con los mismos materiales, sus hábitos individuales pueden producir
4034 variación en los niveles de exposición.
- 4035 **a.4.5.** *Tiempo de exposición:* Esta variable es fundamental al momento de considerar
4036 que trabajadores se van a muestrear.
- 4037 **a.5.** Errores que se pueden cometer. En la mayoría de los casos, es incorrecto asignar el
4038 promedio de exposición del grupo a todos los trabajadores, ya que este promedio puede
4039 subestimar significativamente las exposiciones altas. **Solo cuando la desviación estándar
4040 geométrica del grupo es muy baja (aproximadamente 1,15 o menos), puede asignarse el
4041 promedio geométrico grupal a todos los trabajadores, introduciendo un error inferior a
4042 aproximadamente un 20 %.** (*Occupational Exposure Sampling Strategy Manual (NIOSH,
4043 1977), Capítulo 7*).
- 4044 **b.** Elección aleatoria de un grupo de trabajadores de la más alta exposición. Al respecto, se debe
4045 proceder así:
- 4046 **b.1.** Si no es posible identificar al trabajador o trabajadores con las exposiciones más altas, se
4047 debe aplicar un método estadístico que seleccione al azar un grupo de individuos, bajo el
4048 supuesto de que dentro de dicho grupo se incluirán aquellos con los niveles de exposición
4049 más elevados.
- 4050 **b.2.** Debe asumirse que dentro de cada operación existe un porcentaje de trabajadores con el
4051 nivel de riesgo más alto, generalmente entre un 10 % y un 20 %. Esto implica establecer
4052 un límite superior o "tope" de exposición dentro de cada grupo.
- 4053 El 10 % indica que, dentro de cada grupo, solo ese porcentaje de trabajadores estará
4054 sometido a las exposiciones más altas. Así, si el grupo está compuesto por 50 personas,
4055 se estima que cinco (5) de ellas presentan el mayor nivel de exposición. El desafío consiste
4056 en determinar cuántos trabajadores de esos 50 deben ser muestreados para asegurar
4057 que, al menos, uno (1) de los cinco (5) de mayor riesgo sea incluido en la muestra.
- 4058 **Las Tablas 10-3 a 10-6 facilitan la determinación rápida del tamaño del grupo de trabajadores que
4059 debe ser muestreado, considerando los siguientes rangos:**
- 4060 Nivel de trabajadores altamente expuestos: 10% y 20%
- 4061 Nivel de Confianza 0% y 95%

4062 N = Tamaño del grupo

4063 n = Número de trabajadores del a muestrear

4064 **Ejemplo.** Suponer que el grupo de trabajadores expuestos a un riesgo es 26. ¿Cuántos
4065 trabajadores se deberían muestrear?

4066 **Solución**

4067 - Considerando un límite de 10% de trabajadores altamente expuestos, esto
4068 significaría que habría en estas condiciones 3 trabajadores.

4069 Esto nos indica que a lo menos uno de tres trabajadores altamente expuestos
4070 estará incluido dentro del subgrupo a seleccionar

4071 - Nivel de Confianza: 90%

4072 Significa que existe un 90% de probabilidades de encontrar, en el subgrupo a
4073 seleccionado, al menos uno de los trabajadores pertenecientes al 10% de mayor
4074 exposición.

4075 - Dado que el límite de alto riesgo es del 10 %, el nivel de confianza es del 90 % y
4076 el grupo de trabajadores (N) es de 26, según la Tabla 10-3 se determina que el
4077 número de trabajadores a muestrear (n) es 15.

4078

4079 **Tabla 10-3. Tamaño de Muestra cuando se estima como Grupo de más Alto Riesgo el 10% ($\lambda=0,1$) y**
4080 **Confianza 0,90 ($\alpha=0,1$) (Usar $n=N$, si $N \leq 7$)**

Tamaño del Grupo (N)	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-40	5	∞
N° de trabajadores a muestrear (n)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22

4081

4082 **Tabla 10-4. Tamaño de Muestra cuando se estima como Grupo de más Alto Riesgos el 10% ($\lambda=0,1$)**
4083 **y Confianza 0,95 ($\alpha=0,05$) (Usar $n=N$, si $N \leq 11$)**

Tamaño del Grupo (N)	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	36-41	42-50	∞
N° de trabajadores a muestrear (n)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29

4084

4085 **Tabla 10-5. Tamaño de Muestra cuando se estima como Grupo de más Alto Riesgo el 20% ($\lambda=0,2$)**
4086 **y Confianza 0,90 ($\alpha=0,1$) (Usar $n=N$, si $N \leq 5$)**

Tamaño del Grupo (N)	6	7-9	10-14	15-26	27-50	51- ∞
N° de trabajadores a muestrear (n)	5	6	7	8	9	11

4087 **Tabla 10-6. Tamaño de Muestra cuando se estima como Grupo de más Alto Riesgo el 20% ($\lambda=0,2$) y**
 4088 **Confianza 0,95 ($\alpha=0,05$) (Usar $n=N$, Si $N \leq 6$)**

Tamaño del Grupo (N)	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	51-∞
N° de trabajadores a muestrear (n)	6	7	8	9	10	11	12	14

4089

4090 **c.** Una vez determinado el número de trabajadores a muestrear, es necesario realizar la selección
 4091 aleatoria y proceder a medir su exposición. Para hacer esto se utiliza la Tabla 10-7, de la siguiente
 4092 forma:

4093 **c.1.** Asignar a cada individuo del grupo de riesgo un número de 1 a N (de 1 a 26), siendo N el
 4094 número total de trabajadores del grupo.

4095 **c.2.** Elegir arbitrariamente un punto de partida en una columna (columna 1).

4096 **c.3.** Elegir arbitrariamente una fila (fila 10), y desde el punto donde se interceptan la columna
 4097 1 y la fila 10, recorrer hacia abajo, seleccionando los números menores e igual a N (N=26).

4098 **c.4.** Continuar la selección hasta que se haya reunido la muestra n (n=15). Si es necesario se
 4099 debe continuar en la fila siguiente. Si se ha elegido la fila 25 y no se ha logrado reunir el
 4100 subgrupo, se debe continuar en la fila 1.

4101 En este ejemplo los números seleccionados son: 11-20-8-1-14-13-25-23-7-22-18-19-9-10-
 4102 3

4103 **c.5.** Los trabajadores asignados con los números anteriores deben ser muestreados para
 4104 evaluar su exposición al contaminante.

4105

4106 **10.8. CONSIDERACIONES SOBRE LA INFLUENCIA DE LA TOMA DE MUESTRA EN EL RESULTADO**
 4107 **ANALÍTICO**

4108 **a.** Para efectos de la evaluación ambiental, la confiabilidad de un resultado está condicionado
 4109 fundamentalmente por la utilización del método correcto de toma de muestras.

4110 **b.** La fiabilidad del resultado depende de la correcta preparación y ejecución del método analítico
 4111 apropiado

4112 **c.** Los posibles errores cometidos en el análisis suelen tener siempre menos influencia que los
 4113 cometidos en la toma de muestras.

4114 **d.** No se debe analizar ninguna muestra que no haya sido tomada de acuerdo con el método
 4115 establecido.

4116 **e.** La contaminación de muestras durante la manipulación o transporte introduce fuertes errores
 4117 en el resultado.

4118 **f.** Cada muestra debe estar perfectamente identificada y acompañarse siempre con una ficha
 4119 donde se especifique la correspondiente petición de análisis. Deben señalarse, además, las
 4120 posibles interferencias analíticas conocidas y detectadas.

- 4121 g. Cada muestra se destinará únicamente al análisis mediante una técnica específica. Nunca debe
4122 fraccionarse para utilizarla en la determinación de varios agentes analíticos
- 4123 h. Por encima del resultado del análisis se mantiene siempre el criterio fundamentado del
4124 higienista ocupacional.
- 4125 i. Todo muestreo debe incluir siempre el análisis de muestras testigo (blancos).

4126 **Tabla 10-7. Tabla de Números Aleatorios para la Selección de Trabajadores a Ser Muestreados**

Columna	Fila																								
	1	5	10	15	20	25																			
1	05	57	23	06	26	23	08	66	16	11	73	28	81	56	14	62	82	45	65	80	36	02	76	55	63
	37	78	16	06	57	12	46	22	90	97	78	67	39	06	63	60	51	02	07	16	75	12	90	41	16
	23	71	15	08	82	64	87	29	01	20	46	72	05	80	19	27	47	15	76	51	58	67	06	80	34
	42	67	98	41	67	44	28	71	43	08	19	47	76	30	26	72	33	69	92	51	95	23	26	85	76
	05	83	03	84	32	62	83	27	48	83	09	19	84	90	20	20	50	87	74	93	51	62	10	23	30
6	60	46	18	41	23	74	73	51	72	90	40	52	95	41	20	89	48	98	27	38	81	33	83	82	94
	32	80	64	75	91	98	09	40	64	89	29	99	46	35	69	91	50	73	75	92	90	56	82	93	24
	79	86	53	77	78	06	62	37	48	82	71	00	78	21	65	65	88	45	82	44	78	93	22	78	09
	45	13	23	32	01	09	46	36	43	66	37	15	35	04	88	79	83	53	19	13	91	59	81	81	87
	20	60	97	48	21	41	84	22	72	77	99	81	83	30	46	15	90	26	51	73	66	34	99	40	60
11	67	91	44	83	43	25	56	33	28	80	99	53	27	56	19	80	76	32	53	95	07	53	09	61	98
	86	50	76	93	86	35	68	45	37	83	47	44	52	57	66	59	64	16	48	39	26	94	54	66	40
	56	73	38	38	23	36	10	95	16	01	10	01	59	71	55	99	24	88	31	41	00	73	13	80	62
	55	11	50	29	17	73	97	04	20	39	20	22	71	11	43	00	15	10	12	35	09	11	00	89	05
	23	54	33	87	92	92	04	49	73	96	57	53	57	08	93	09	69	87	83	07	46	39	50	37	85
16	41	48	67	79	44	57	40	29	10	34	58	63	51	18	07	41	02	39	79	14	40	68	10	01	61
	03	97	71	72	43	27	36	24	59	88	82	87	26	31	11	44	28	58	99	47	83	21	35	22	88
	90	24	83	48	07	41	56	68	11	14	77	75	48	68	08	90	89	63	87	00	06	18	63	21	91
	98	98	97	42	27	11	80	51	13	13	03	42	91	14	51	22	15	48	67	52	09	40	34	60	85
	74	20	94	21	49	96	51	69	99	85	43	76	55	81	36	11	88	68	32	43	08	14	78	05	34
21	94	67	48	87	11	84	00	85	93	56	43	99	21	74	84	13	56	41	90	96	30	04	19	68	73
	58	18	84	82	71	23	66	33	19	25	65	17	90	84	24	91	75	36	14	83	86	22	70	86	89

	31	47	28	24	88	49	28	69	78	62	23	45	53	38	78	65	87	44	91	93	91	62	76	09	20
	45	62	31	06	70	92	73	27	83	57	15	64	40	57	56	54	42	35	40	93	55	82	08	78	87
	31	49	87	12	27	41	07	91	72	64	63	42	06	66	82	71	28	36	45	31	99	01	03	35	76
26	69	37	22	23	46	10	75	83	62	94	44	65	46	23	65	71	69	20	89	12	16	56	61	70	41
	93	67	21	98	42	42	56	53	14	86	24	70	25	18	23	23	56	24	03	86	11	06	46	10	23
	77	56	18	37	01	32	20	18	70	79	20	85	77	89	28	17	77	15	52	47	15	30	35	12	75
	37	07	47	79	60	75	24	15	31	63	25	93	27	66	19	53	52	49	98	45	12	12	06	00	32
	72	08	71	01	73	46	39	60	37	58	22	25	20	84	30	02	03	62	68	58	38	04	06	89	94
31	55	22	48	46	72	50	14	24	47	67	84	37	32	84	82	64	97	13	69	86	20	09	80	46	75
	69	24	99	90	70	29	34	25	33	23	12	69	90	50	38	93	84	32	28	96	03	65	70	90	12
	01	86	77	18	21	91	66	11	84	65	48	75	26	94	51	40	51	53	36	39	77	69	06	25	07
	51	40	94	06	80	61	34	28	46	28	11	48	48	94	60	65	06	63	71	06	19	35	05	32	56
	58	78	02	85	80	29	67	27	44	07	57	23	20	28	22	62	97	59	62	13	41	72	70	71	56
36	33	75	88	51	00	33	56	15	84	34	28	50	16	65	12	81	56	43	54	14	63	37	74	97	59
	58	60	37	45	62	09	95	93	16	59	35	22	91	78	04	97	98	80	20	04	38	93	13	92	30
	72	13	12	95	32	87	99	32	83	69	40	17	92	57	22	68	98	79	16	23	53	56	56	07	47
	22	21	13	16	10	52	57	71	40	49	95	25	55	36	95	57	25	25	77	05	38	05	62	57	77
	97	94	83	67	90	68	74	88	17	22	38	01	04	33	49	38	47	57	61	87	15	39	43	87	00
41	09	03	68	53	63	29	27	31	66	53	39	34	88	87	04	35	80	69	52	75	99	16	52	01	65
	29	95	61	42	65	05	72	27	28	18	09	85	24	59	46	03	91	55	38	62	51	71	47	37	38
	81	96	78	90	47	41	38	36	33	95	05	90	26	72	85	23	23	30	70	51	56	93	23	84	80
	44	62	20	81	21	57	57	85	00	47	26	10	87	22	45	72	03	51	75	23	38	38	56	77	97
	68	91	12	15	08	02	18	74	56	79	21	53	63	41	77	15	07	39	87	11	19	25	62	19	30
46	29	33	77	60	29	09	25	09	42	28	07	15	40	67	56	29	58	75	84	06	19	54	31	16	53
	54	13	39	19	29	64	97	73	71	61	78	03	24	02	93	86	69	76	74	28	08	98	84	08	23
	75	16	85	64	64	93	85	68	08	84	15	41	57	84	45	11	70	13	17	60	47	80	10	13	00
	36	47	17	08	78	03	92	85	18	42	95	48	27	37	99	98	81	94	44	72	06	95	42	31	17
	29	61	08	21	91	23	76	72	84	98	26	23	66	54	86	88	95	14	82	57	17	99	16	28	99

Fuente: Occupational Exposure Sampling Strategy Manual

4129 **10.9. ERRORES SISTEMATICOS EN EL MUESTREO O MEDICIONES**

4130 **10.9.1. Tiempo y Caudales de Muestreo**

4131 a. Caudales demasiado altos para acortar tiempo de muestreo.

4132 *Consecuencia:* Disminución de la eficiencia de recolección de la muestra.

4133 b. Tiempo de muestreo excesivo, ya sea para tomar más muestras o por falta de
4134 control del tiempo.

4135 *Consecuencia:* Saturación de la muestra o colmatación del medio de retención.

4136 **10.9.2. Falta de Vigilancia del Muestreo**

4137 a. Variación no percibida en el caudal de muestreo (resultados habitualmente por
4138 defecto).

4139 b. Alteración intencionada de muestra (resultado por exceso, fácilmente detectable).

4140 c. Realización de trabajos anormales no detectables posteriormente (resultados
4141 habitualmente por exceso).

4142 d. Alteraciones de las condiciones de aireación o ventilación del local.

4143 e. Aproximación excesiva a los focos de emisión (resultado habitualmente por
4144 exceso).

4145 **10.9.3. Selección de Trabajadores a Muestrear**

4146 a. Seleccionar únicamente a los trabajadores más expuestos puede conducir a una
4147 sobreestimación de los resultados si no se incluyen los demás en el muestreo.

4148 b. Asumir que la concentración media de un grupo representa la exposición de todos
4149 sus miembros puede conducir a errores superiores al 100 %. Este enfoque sólo es
4150 válido para grupos con exposición similar, de acuerdo con lo indicado en el punto
4151 9.9. El muestreo puede iniciarse con los trabajadores más expuestos y, según los
4152 resultados obtenidos, decidir si se continúa o se detiene el muestreo

4153 **10.9.4. Otros Tipos de Errores**

4154 a. Contaminación de las muestras (resultados por exceso).

4155 b. Alteración de la muestra en el transporte (resultado por defecto).

4156 c. No tomar muestra testigo (TR) (habitualmente exceso o indecisión en el
4157 resultado).

4158

4159 **Tabla 10-8. Coeficientes generales de Variación para algunos Procedimientos de Muestreo**
4160 */Análisis*

Procedimiento de Muestreo/Análisis	Coefficiente de Variación
Tubos detectores calorimétricos	0,14
Rotámetros de bombas personales (solo muestreo)	0,05

Tubos de carbón activado (IM/A)	0,10
Asbesto (muestreo y recuento)	0,24 – 0,38
Polvo respirable, excepto polvo de carbón (muestreo y pesada)	0,09
Polvo total (muestreo y pesada)	0,05

4161

Fuente: Occupational Exposure Sampling Strategy Manual.

BORRADOR

4162 **CAPÍTULO XI**

4163 **DETECCIÓN DE GASES Y MEDICIÓN DEL GRADO DE EXPLOSIVIDAD EN**
4164 **AMBIENTES LABORALES**

4165

4166

4167 **11.1. INTRODUCCIÓN**

4168 En higiene ocupacional, los equipos detectores de gases se utilizan con el propósito de prevenir
4169 accidentes y enfermedades profesionales, ya que permiten identificar y cuantificar la presencia de
4170 contaminantes químicos en el aire. Estos contaminantes pueden encontrarse en atmósferas tóxicas,
4171 explosivas o con composiciones distintas a la del aire atmosférico normal, el cual contiene
4172 aproximadamente un 20,9 % de oxígeno, 78,1 % de nitrógeno y un 1 % de otros componentes.

4173 Entre los contaminantes químicos presentes en los ambientes laborales se encuentran agentes
4174 nocivos para la salud tales como gases y vapores. Un **gas** es una sustancia que, a temperatura y
4175 presión ambiente, no tiene volumen ni forma definida, se expande indefinidamente y ocupa
4176 homogéneamente el volumen del recipiente que lo contiene. Ejemplos de gases comunes incluyen:
4177 oxígeno (O₂), hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), metano (CH₄), etano (C₂H₆), propano (C₃H₈), butano
4178 (C₄H₁₀) y ácido sulfhídrico (H₂S). Un **vapor**, en cambio, es una sustancia que se encuentra en fase
4179 gaseosa, pero que a presión y temperatura ambiente existe naturalmente en estado líquido o sólido.
4180 Algunos ejemplos son: agua (H₂O), acetona (C₃H₆O), benceno (C₆H₆), etanol (C₂H₆O), éter etílico
4181 (C₄H₁₀O), acetato de etilo (C₄H₈O₂), ácido sulfúrico (H₂SO₄) y amoníaco (NH₃).

4182 Cuando el oxígeno se mezcla con un gas combustible, se forma una mezcla inflamable. Si esta mezcla
4183 alcanza determinadas concentraciones y se expone a una fuente de ignición como una chispa, una
4184 llama o una temperatura elevada, puede producirse una combustión, que es una reacción química
4185 de oxidación rápida que libera energía en forma de calor y luz.

4186 Cuando la concentración de dicha mezcla se encuentra dentro de un rango que permite una
4187 propagación súbita de la combustión con liberación violenta de energía, se habla de una mezcla
4188 explosiva.

4189 En este contexto, una condición IDLH (inmediatamente peligroso para la vida y la salud),
4190 corresponde a una concentración de contaminante en el aire que representa un peligro inmediato
4191 para la vida o la salud. La exposición a estas concentraciones, incluso durante un corto periodo de
4192 tiempo, puede provocar la muerte, lesiones graves o efectos adversos irreversibles para la salud.

4193 Por esta razón, en entornos donde puedan generarse atmósferas inflamables, explosivas o tóxicas,
4194 es fundamental disponer de tecnología confiable para la detección y monitoreo continuo de gases,
4195 lo que permite actuar preventivamente y proteger la salud y la vida de la población trabajadora.

4196

4197 **11.1.1. Ambientes Tóxicos.**

4198 Los ambientes tóxicos se caracterizan por la presencia de una o más sustancias capaces de causar
4199 daño a los seres vivos. En particular, los gases y vapores tóxicos representan un riesgo significativo

4200 para la salud, ya que pueden afectar tejidos vivos, inducir enfermedades graves, comprometer el
4201 sistema nervioso central e incluso provocar la muerte.

4202 Los efectos tóxicos pueden manifestarse a través de distintas vías de exposición, como la inhalación,
4203 la ingestión o el contacto con la piel y los ojos, dependiendo de la naturaleza de la sustancia y de su
4204 concentración en el ambiente.

4205 La toxicidad de una sustancia depende de varios factores: su naturaleza química, la concentración
4206 en el ambiente, el tiempo de exposición y la susceptibilidad individual del trabajador. En este
4207 sentido, se distinguen dos tipos de toxicidad:

- 4208 • **Toxicidad aguda**, que se manifiesta tras exposiciones breves pero intensas.
- 4209 • **Toxicidad crónica**, que se desarrolla a lo largo del tiempo por exposiciones repetidas o
4210 prolongadas a bajas concentraciones.

4211 La peligrosidad de los gases y vapores varía considerablemente: algunos son letales en bajas
4212 concentraciones tras exposiciones breves, mientras que otros requieren exposiciones prolongadas
4213 o repetidas para causar daño. Muchos de estos compuestos carecen de olor o color, y sus efectos
4214 no siempre son inmediatos, lo que dificulta su detección sin equipos especializados. Por ello, el
4215 monitoreo continuo del ambiente laboral es fundamental.

4216 Las atmósferas tóxicas pueden originarse tanto por la presencia previa de contaminantes como por
4217 la generación de sustancias peligrosas durante la ejecución de ciertos trabajos, especialmente en
4218 espacios confinados. En estos entornos, las intoxicaciones suelen ser agudas, debido a la alta
4219 concentración de los contaminantes presentes.^{44 45 46}

4220 Cuando las concentraciones son más bajas, los efectos pueden pasar desapercibidos, pero la
4221 exposición repetitiva a lo largo del tiempo puede derivar en enfermedades profesionales crónicas.

4222 Además del riesgo de intoxicación, también existen atmósferas irritantes o corrosivas, generadas
4223 por compuestos como el cloro, el ácido clorhídrico o el amoníaco, que pueden causar daños
4224 inmediatos en las vías respiratorias, la piel y los ojos.

4225

4226 **11.1.2. Ambientes Deficientes y Enriquecidos de Oxígeno.**

4227 Se considera un ambiente deficiente en oxígeno aquel en el que la concentración de este gas es
4228 inferior al 19,5 % en volumen, de acuerdo con estándares internacionales y normativas de seguridad
4229 aplicables a la minería subterránea. En términos generales, se considera que existe riesgo para la
4230 salud cuando la concentración de oxígeno desciende por debajo del 18 %.

4231 No obstante, la disponibilidad real de oxígeno está determinada por su presión parcial, la cual
4232 depende no solo de su concentración, sino también de factores como la altitud y la presión
4233 atmosférica.

4234 La disminución de oxígeno en el ambiente puede originarse por el desplazamiento de este gas
4235 debido a la presencia de otros gases, como dióxido de carbono, metano o nitrógeno. También puede
4236 deberse a procesos de oxidación (como la corrosión), a la combustión incompleta de materiales, y

⁴⁴ Ntp 223: trabajos en espacios confinados.

⁴⁵ Hse (health and safety executive): ambientes con oxígeno reducido.

⁴⁶ Hse (health and safety executive): Trabajo en espacios confinados.

4237 especialmente a actividades realizadas en espacios confinados, donde el oxígeno es consumido
4238 progresivamente.

4239 Según la intensidad de la actividad física o la carga de trabajo a realizar, puede ser necesario
4240 implementar un monitoreo ambiental continuo o periódico, no limitándose únicamente a la
4241 medición previa al ingreso al espacio. Esta medida permite garantizar condiciones seguras durante
4242 toda la permanencia en el lugar de trabajo.^{44, 46}

4243 En la **Tabla 11-1** se describen los efectos asociados a diferentes niveles de concentración de oxígeno
4244 en el aire, para facilitar la evaluación de riesgos y la toma de decisiones preventivas.

4245 **Tabla 11-1. Efectos de la Deficiencia de Oxígeno.**

% Oxígeno	Efectos
19,5 – 16	No hay efectos visibles.
16 – 12	Incremento de la respiración, latidos acelerados, dificultad de pensamiento, atención y coordinación.
14 – 10	Difícil coordinación muscular, respiración intermitente y esfuerzo muscular que causa rápidamente fatiga.
10 – 6	Náuseas, vómitos, incapacidad para desarrollar movimientos o pérdida del movimiento, inconsciencia seguida de la muerte.
Menos de 6	Dificultad para respirar, movimientos convulsivos, muerte en minutos.

4246

4247 Un ambiente se considera enriquecido de oxígeno cuando la concentración de esta sustancia en el
4248 aire supera el 23,5%, es decir, la atmósfera está con exceso de oxígeno y próxima a volverse
4249 inestable. La posibilidad y severidad de fuego o explosión, se incrementa significativamente si la
4250 concentración en un ambiente llega a valores del 28%, porque los tejidos ignífugos dejan de serlo.
4251 Por lo tanto, los elementos como ropa, delantales, guantes y otros, que con una concentración
4252 normal de oxígeno (20,9 %) en el aire no son combustibles, pueden serlo si hay un aumento del
4253 porcentaje de oxígeno en la atmósfera.

4254

4255 **11.1.3. Ambientes Explosivos.**

4256 El peligro de explosión, está estrechamente relacionado con las sustancias inflamables o
4257 combustibles que se procesan, manipulan o almacenan en los equipos, así como con los materiales
4258 utilizados en la construcción de dichos sistemas y componentes. Este riesgo se intensifica cuando
4259 dichas sustancias, al mezclarse con el aire, pueden experimentar reacciones de combustión. A
4260 diferencia de un incendio, una explosión implica una propagación auto sostenida de la zona de
4261 reacción (llama) a través de una atmósfera explosiva, generando liberación repentina de calor,
4262 incremento de presión y emisión de productos peligrosos^{47 48}.

4263 La probabilidad de que se forme una atmósfera explosiva peligrosa depende de varios factores
4264 clave: la presencia de sustancias inflamables, el grado de dispersión de dichas sustancias (gases,
4265 vapores, nieblas o polvos), su concentración en el aire y la cantidad de mezcla explosiva suficiente
4266 como para causar daños significativos si se inflama. Esta probabilidad también puede originarse por

4267 procesos químicos, pirolíticos o biológicos. En caso de no poder estimarse con certeza, se debe
4268 asumir que la atmósfera explosiva está siempre presente.^{47 48}

4269 En este contexto, el peligro no reside únicamente en la sustancia en sí, sino en su comportamiento
4270 al mezclarse con el aire. Por ello, es fundamental determinar sus propiedades de inflamabilidad,
4271 tales como:

- 4272 - Punto de inflamación o punto de explosión menor.
- 4273 - Límite Inferior de Explosividad (LIE): Es la cantidad mínima requerida de un gas o vapor
4274 combustible concreto necesaria para favorecer su combustión en el aire
- 4275 - Límite Superior de Explosividad (LSE): es la concentración más alta de un combustible que,
4276 al mezclarse con un oxidante (como el oxígeno en el aire), puede generar una combustión
4277 o una llama al contacto con una fuente de ignición.
- 4278 - Concentración Límite de Oxígeno (CLO), que indica el mínimo de oxígeno necesario para que
4279 ocurra una explosión.

4280 Estos parámetros permiten evaluar el potencial de formación de una mezcla explosiva. Los límites
4281 de explosividad varían según la temperatura y la presión: en general, un aumento en estas variables
4282 amplía el rango explosivo.

4283 Los **gases y vapores** tienen un alto grado de dispersión, lo que facilita la formación de mezclas
4284 explosivas con el aire. En el caso del material particulado, se considera que pueden formar
4285 atmósferas explosivas si sus partículas son menores o iguales a 0,5mm. Sin embargo, su
4286 comportamiento es más complejo: las nubes de polvo no son homogéneas, su concentración varía
4287 y pueden acumularse en superficies, reintroduciéndose al aire y generando peligros potenciales.

4288 Debe prestarse especial atención a las **mezclas híbridas**, donde ninguna sustancia individual está
4289 dentro de su rango explosivo, pero su combinación puede provocar una explosión. Además, si una
4290 atmósfera explosiva permanece en contacto con una superficie caliente durante un tiempo
4291 prolongado, pueden generarse productos intermedios más inflamables, aumentando el riesgo de
4292 ignición⁴⁷.

4293 **Evaluación de Sustancias Inflamables**

4294 Toda sustancia inflamable debe considerarse como generadora potencial de una atmósfera
4295 explosiva, salvo que se demuestre, mediante ensayos específicos, que no puede mantener una
4296 combustión de forma auto sostenida al mezclarse con el aire. En el caso del material particulado,
4297 los valores de inflamabilidad dependen de múltiples factores como la distribución granulométrica,
4298 humedad, forma de las partículas y aditivos presentes, por lo que los datos genéricos sólo deben
4299 usarse como guía preliminar. Cada gas combustible tiene definidos sus límites de explosividad,
4300 expresados en porcentaje de concentración en el aire, estos límites indican el rango en el que una
4301 mezcla aire-combustible puede resultar explosiva. En la **Tabla 2: Límites LEL y LSE de algunos**
4302 **combustibles gaseosos**, se presentan los valores de los límites inferior (LIE) y superior (LSE) de
4303 explosividad, expresados en porcentaje (%), para diversas sustancias combustibles^{47, 48}

⁴⁷ UNE-EN 1127-1:2020: Atmosferas explosivas prevención y protección parte1: conceptos y metodología

⁴⁸ Guía Técnica: Evaluación y prevención de los riesgos derivados de atmosferas explosivas en el lugar de trabajo

4304

Tabla 11-2. Límites LEL y LSE de Algunos Combustibles Gaseosos.

Sustancia	Fórmula	LEL (%)	LSE (%)
Amoníaco	NH ₃	16,0	27,0
Hidrógeno	H ₂	4,0	75,0
Etanol	C ₂ H ₆ O	3,3	19
Propano	C ₃ H ₈	2,1	9,5
Butano	C ₄ H ₁₀	1,9	8,5
Acetona	C ₃ H ₆ O	2,2	13,0
Benceno	C ₆ H ₆	1,2	7,1
Monóxido de Carbono	CO	12,5	74,0

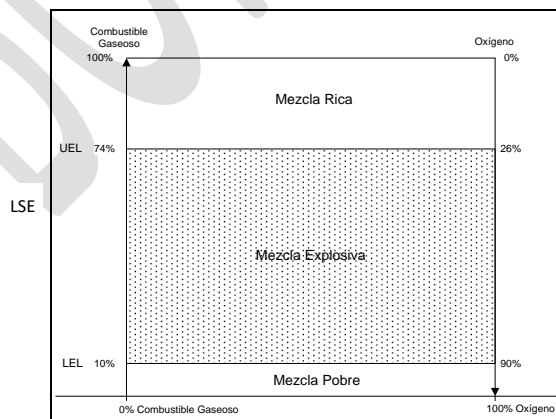
4305

4306 Una mezcla se considera pobre cuando la concentración del gas combustible es inferior al Límite
 4307 Inferior de Explosividad (LIE); en este caso, la mezcla no es explosiva debido a la insuficiencia de
 4308 combustible. Por el contrario, cuando la concentración supera el Límite Superior de Explosividad
 4309 (LSE), se denomina mezcla rica, y tampoco es explosiva por falta de oxígeno.

4310 Una mezcla es potencialmente explosiva únicamente cuando la concentración del gas combustible
 4311 se encuentra entre el LIE y el LSE. Por ejemplo, en una mezcla de un gas combustible con oxígeno,
 4312 si el gas se encuentra entre el 10 % (LIE) y el 74 % (LSE), y el oxígeno entre el 90 % y el 26 %, se forma
 4313 una mezcla explosiva, como se ilustra en la Figura 11-1.

- 4314 - Una mezcla pobre contiene menos del 10 % de gas combustible, lo cual impide la explosión
 4315 por deficiencia de combustible.
- 4316 - Una mezcla rica contiene más del 74 % de gas combustible, lo cual impide la explosión por
 4317 deficiencia de oxígeno.
- 4318 - Para que ocurra una explosión, se requiere al menos un 10 % de gas combustible y un 90 %
 4319 de oxígeno, y como máximo un 74 % de gas con un mínimo de 26 % de oxígeno.

4320 Estos rangos definen el intervalo de explosividad, dentro del cual la mezcla puede encenderse si se
 4321 encuentra una fuente de ignición adecuada ^{47, 48}



4322

4323 **Figura 11-1. Límite Superior de Explosividad (LSE) y Límite Inferior de Explosividad (LIE).**

4324 11.2. TECNOLOGÍAS DE LOS DETECTORES DE GASES.

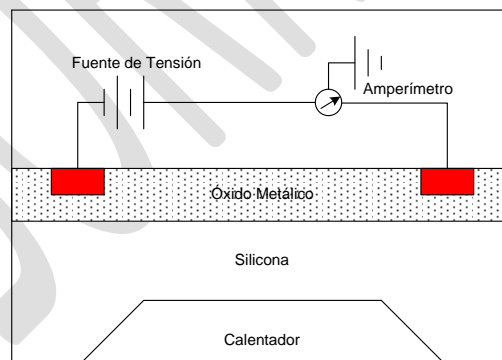
4325 Existe una amplia variedad de tecnologías y equipos diseñados para la detección de ambientes con
4326 deficiencia o enriquecimiento de oxígeno, así como para la presencia de gases tóxicos, inflamables
4327 o mezclas de gases combustibles. En general, los detectores de gases permiten medir la
4328 concentración de oxígeno en el aire de un entorno determinado.

4329 Esta concentración puede verse afectada por el desplazamiento del oxígeno debido a la presencia
4330 de otros gases, lo que puede generar una deficiencia peligrosa, o por un exceso de oxígeno, que
4331 incrementa el riesgo de explosión.

4332 Las mediciones deben ser realizadas por personal debidamente capacitado, con conocimientos
4333 tanto del funcionamiento del equipo como de las normativas de seguridad aplicables.

4334 11.2.1. Sensor Semiconductor

4335 Los sensores semiconductores son simples, bastante resistentes y pueden ser muy sensibles. De
4336 igual forma que los sensores catalíticos, funcionan gracias a la absorción de gas en la superficie de
4337 un óxido caliente. Una fina película de óxido metálico (generalmente los óxidos de los metales de
4338 transición o metales pesados, como el estaño) se deposita en un trozo de silicón, un proceso muy
4339 parecido al usado en la fabricación de los microchips de computadores. La absorción de la muestra
4340 de gas en la superficie con óxido, y su posterior oxidación catalítica, da como resultado un cambio
4341 de la resistencia eléctrica del material con óxido y se puede relacionar con la concentración de la
4342 muestra de gas. La superficie del sensor se calienta a una temperatura constante de alrededor de
4343 200 a 250 °C, para acelerar el ritmo de reacción y para reducir los efectos de los cambios de la
4344 temperatura ambiente (ver Figura 11-2). Sin embargo, han resultado ser poco fiables para
4345 aplicaciones industriales, ya que no están específicamente indicados para gases concretos y se
4346 pueden ver afectados por las variaciones atmosféricas de humedad y temperatura. Es posible que
4347 se tengan que comprobar más a menudo que otros tipos de sensores, ya que se sabe que pierden
4348 sensibilidad, son lentos en responder y en recuperarse tras la exposición a una mezcla explosiva (ver
4349 Figura 11-2).



4350

4351

Figura 11-2. Sensor Semiconductor.

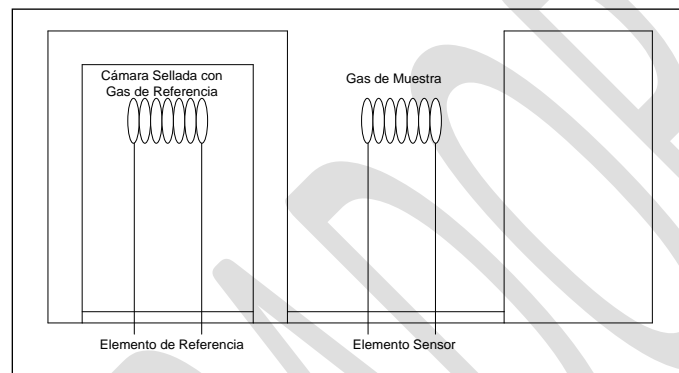
4352 11.2.2. Conductividad Térmica

4353 Esta técnica de detección de gas es adecuada para la medición de altas concentraciones (% v/v) de
4354 mezclas de gases binarios. Se usa principalmente para la detección de gases con una conductividad

4355 térmica mucho mayor que el aire; por ejemplo, el metano y el hidrógeno. Los gases con
4356 conductividades térmicas cercanas a las del aire no se pueden detectar; por ejemplo, el amoniaco y
4357 el monóxido de carbono. Los gases con conductividades térmicas inferiores a las del aire son más
4358 difíciles de detectar, ya que el vapor de agua puede causar interferencias, por ejemplo, el dióxido
4359 de carbono y el butano. Las mezclas de dos gases en ausencia de aire también se pueden medir
4360 usando esta técnica. El elemento sensor caliente se expone a la muestra y el elemento de referencia
4361 se introduce en un compartimento cerrado. Si la conductividad térmica del gas es mayor que el de
4362 referencia, la temperatura del elemento sensor disminuye. Si la conductividad térmica del gas es
4363 menor que el de referencia, la temperatura del elemento de prueba incrementa.

4364 Estos cambios de temperatura son proporcionales a la concentración de gas presente en el
4365 elemento de muestra (ver Figura 11-3).

4366



4367

4368

Figura 11-3. Sensor Conductividad Térmica.

4369

11.2.3. Detector de Gas Infrarrojo

4370 Muchos gases combustibles tienen franjas de absorción en la zona infrarroja del espectro
4371 electromagnético de luz, y el principio de la absorción infrarroja se ha usado como una herramienta
4372 analítica de laboratorio durante muchos años. Sin embargo, desde los años 80, los avances
4373 electrónicos y ópticos han hecho posible diseñar equipos con suficiente bajo consumo de energía y
4374 pequeño tamaño para que esta técnica se pueda usar también en los productos de detección de
4375 gases industriales.

4376 Estos sensores tienen varias ventajas importantes sobre los de tipo catalítico. Incluyen una velocidad
4377 de respuesta muy rápida (normalmente menos de 10 segundos), un mantenimiento bajo y una
4378 comprobación muy simplificada, mediante la función de auto-comprobado de un moderno equipo
4379 controlado por microprocesador. También se pueden diseñar para que no les afecte ningún
4380 "veneno" conocido, cuentan con una seguridad intrínseca y funcionan correctamente en atmósferas
4381 inertes, y bajo una amplia variedad de condiciones de temperatura ambiente, presión y humedad.

4382 Esta técnica funciona bajo el principio de absorción de infrarrojos de doble longitud de onda, según
4383 el cual la luz atraviesa la mezcla en dos longitudes de onda, una de las cuales se ajusta al pico de
4384 absorción del gas que se pretende detectar, mientras que la otra no. Las dos fuentes de luz se pulsan
4385 alternativamente y se guían a lo largo de un camino óptico común para que salgan a través de una
4386 ventana con protección antideflagración y a través del gas de muestra. Posteriormente, un retro
4387 reflector refleja otra vez los haces, regresando una vez más a través del gas para volver a la unidad.

4388 El detector compara las fuerzas de las señales de los haces de referencia y de muestra, luego, por
4389 medio de una resta, se proporciona una medida de la concentración de gas.

4390 Este tipo sólo puede detectar moléculas de gases diatómicos y, por lo tanto, no es adecuado para la
4391 detección de hidrógeno.

4392 **11.2.4. Detector de Infrarrojo de Camino Abierto**

4393 Tradicionalmente, el método convencional para detectar fugas de gas era mediante detección fija
4394 puntual, utilizando sensores individuales para cubrir un área o perímetro. Sin embargo, más
4395 recientemente, se encuentran disponibles una serie de instrumentos que usan la tecnología
4396 infrarroja o láser de haz de forma amplia (o de camino abierto) que puede cubrir una distancia de
4397 varios cientos de metros. Los antiguos diseños de camino abierto se usaban normalmente para
4398 complementar la detección fija puntual; sin embargo, ahora se usan como método prioritario los
4399 instrumentos de tercera generación. Las aplicaciones típicas en las que han tenido un éxito
4400 considerable incluyen los barcos petroleros tipo FPSO (unidades flotantes de producción y
4401 almacenaje), además de terminales de carga y descarga, tuberías, supervisión de perímetros,
4402 plataformas en alta mar y zonas de almacenaje de LNG (gas natural licuado).

4403 Los equipos de tercera generación usan un filtro de paso de doble franja que tiene dos longitudes
4404 de onda de referencia (uno a cada lado del gas) que compensa totalmente la interferencia de
4405 cualquier tipo de niebla o lluvia. Otros problemas asociados con diseños antiguos han sido
4406 superados por el uso de un diseño óptico coaxial para eliminar falsas alarmas causadas por la
4407 obstrucción parcial del haz, y por el uso de lámparas de destello de xenón y detectores de estado
4408 fiables que hacen que los instrumentos sean totalmente inmunes a las interferencias de la luz del
4409 sol o a otras fuentes de radiación como chimeneas de combustión, soldaduras por arco o los rayos.

4410 Los detectores de camino abierto miden realmente el número total de moléculas de gas (es decir,
4411 la cantidad de gas) que hay en el haz. Este valor es diferente a la concentración habitual de gas dado
4412 en un único punto y, por lo tanto, se expresa en términos de % LEL.

4413 **11.2.5. Sensor Electroquímico**

4414 Se pueden utilizar sensores electroquímicos específicos de gas para detectar la mayoría de los gases
4415 tóxicos comunes, incluidos CO, H₂S, Cl₂, SO₂ y otros, en una amplia variedad de aplicaciones de
4416 seguridad.

4417 Los sensores electroquímicos son compactos, requieren muy poca energía, muestran una gran
4418 linealidad y repetibilidad, y generalmente tienen una larga vida útil, normalmente de uno a tres
4419 años. Los tiempos de respuesta, indicados como T90, es decir, tiempo para alcanzar el 90% de la
4420 respuesta final, son normalmente de 30 a 60 segundos y el intervalo de los límites de la detección
4421 oscila entre 0,02 y 50 ppm según el tipo de gas especificado. Muchos son los diseños comerciales
4422 de celdas electroquímicas, pero comparten varias características.

4423 Dependiendo de la celda en concreto, el gas está oxidado o reducido en la superficie del electrodo
4424 activo. Esta reacción altera el potencial del electrodo activo en relación con el electrodo de
4425 referencia. La función principal del circuito conductor electrónico asociado a la celda es la de
4426 minimizar esta diferencia de potencial pasando corriente entre los electrodos activos y los
4427 contraelectrodos, siendo la corriente medida proporcional a la concentración de gas especificado.
4428 El gas entra en la celda a través de una barrera de difusión externa que es permeable al gas, pero
4429 impermeable al líquido.

4430 Algunos diseños incorporan una barrera de difusión capilar para limitar la cantidad de gas que entra
4431 en contacto con el electrodo activo y, de esta forma, mantenga el funcionamiento de la celda
4432 amperométrica. Se requiere una mínima concentración de oxígeno para el correcto funcionamiento
4433 de todas las células electroquímicas, lo que las hace inadecuadas para ciertas aplicaciones de
4434 supervisión de procesos. Aunque el electrolito contiene una cierta cantidad de oxígeno disuelto, lo
4435 que permite la detección a corto plazo (minutos) del gas especificado en un entorno libre de
4436 oxígeno, es muy recomendable que todos los flujos de gas de calibración incorporen aire como el
4437 componente o diluyente principal.

4438 La especificidad para el gas se obtiene optimizando la electroquímica, es decir, la elección del
4439 catalizador y del electrolito, o incorporando filtros en la celda que absorban físicamente o
4440 reaccionen químicamente con ciertas moléculas de gas que interfieran para incrementar la
4441 especificidad del gas. Es importante consultar el manual del producto adecuado para comprender
4442 los efectos de los gases interferentes potenciales en la respuesta de la celda.

4443 La necesaria inclusión de electrolitos acuosos en las celdas electroquímicas da como resultado un
4444 producto sensible a condiciones medioambientales, tanto de temperatura como de humedad. Para
4445 abordar esto, el sistema incorpora dos depósitos de electrolitos que tienen en cuenta la absorción
4446 y la pérdida de electrolitos, que tiene lugar en entornos de alta temperatura y alta humedad, así
4447 como de baja temperatura y baja humedad.

4448 La vida del sensor electroquímico está generalmente garantizada por dos años, pero el tiempo de
4449 vida útil real a menudo supera los valores mencionados. La excepción son los sensores de oxígeno
4450 (O_2), de amoníaco (NH_3) y de ácido cianhídrico (HCN), en los que los componentes de la celda se
4451 consumen necesariamente como parte del mecanismo de reacción sensible.

4452

4453 **11.2.6. Sensor Perla Catalítica**

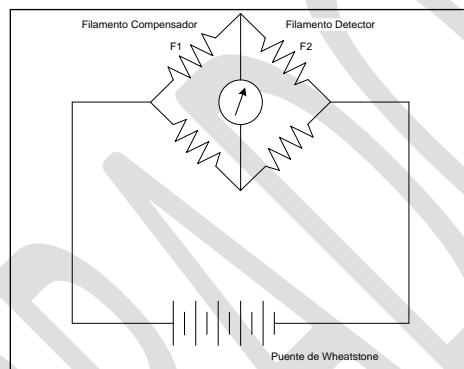
4454 Los equipos con sensores de detección de gas combustible modernos de bajo costo son del tipo
4455 electrocatalítico. Estos consisten en un pequeño sensor llamado perla, que consta de una bobina de
4456 alambre de platino calentada eléctricamente, cubierta por una base de cerámica (por ejemplo, de
4457 alúmina), y finalmente con una capa exterior de catalizador de paladio dispersa en un sustrato. Este
4458 tipo de sensores funciona basándose en el principio de que cuando una mezcla de gas o vapor
4459 combustible pasa por sobre la superficie del catalizador caliente, se produce la combustión, y el
4460 calor desprendido incrementa la temperatura de la perla. Esto a su vez altera la resistencia de la
4461 bobina de platino y se puede medir usando la bobina como un termómetro de temperatura en un
4462 circuito de puente eléctrico. El cambio de resistencia está directamente relacionado con la
4463 concentración de gas o vapor en la atmósfera circundante, y se puede mostrar en un medidor o en
4464 cualquier otro dispositivo parecido.

4465 Para asegurar la estabilidad de la temperatura bajo condiciones ambientales cambiantes, algunos
4466 sensores catalíticos usan perlas térmicamente adaptadas. Se sitúan en ramas opuestas de un puente
4467 Wheatstone (ver Figura 11-4), y el sensor sensible reaccionará con cualquier gas o vapor
4468 combustible presente, mientras que, en un sensor de equilibrio, inactivo o no sensible no lo hará. El
4469 funcionamiento inactivo se consigue cubriendo la perla con una película de cristal o bien
4470 desactivando el catalizador, de forma que actúe sólo como un compensador de cualquier cambio
4471 de humedad o temperatura externa.

4472 La estabilizada del funcionamiento se puede mejorar aún más utilizando sensores resistentes a
4473 venenos. Éstos tienen una mayor resistencia a la degradación provocada por sustancias como
4474 siliconas, azufre y compuestos del plomo que rápidamente pueden desactivar o envenenar otros
4475 tipos de sensores catalíticos.

4476 Para conseguir los requisitos necesarios de seguridad en el diseño, el sensor catalítico tiene que
4477 montarse en una sólida carcasa metálica detrás de un apaga llamas. Esto permite que la mezcla de
4478 gas y aire se disperse en la carcasa y en el sensor caliente, pero evitará la propagación de cualquier
4479 tipo de llama a la atmósfera exterior. El apaga llamas reduce ligeramente la velocidad de respuesta
4480 del sensor, pero, en la mayoría de los casos, la salida eléctrica dará una lectura en cuestión de
4481 segundos una vez que el gas haya sido detectado. Sin embargo, como la curva de respuesta se nivela
4482 considerablemente a medida que se acerca a la lectura final, el tiempo de respuesta a menudo se
4483 especifica en términos del tiempo que invierte en llegar al 90 por ciento de su lectura final, y por lo
4484 tanto se llama valor T90. Los valores de T90 para los sensores catalíticos se encuentran entre 20 y
4485 30 segundos (ver Figura 11-4).

4486



4487

4488

Figura 11-4. Puente de Wheatstone del Sensor Catalítico.

4489

4490 **11.3. TIPOS DE DETECTORES DE GASES**

4491 **11.3.1. Detector de Gases**

4492 Los detectores de gases son equipos que pueden detectar la existencia e incluso medir la
4493 concentración de algunos gases en el ambiente, los que han sido configurados previamente a su
4494 adquisición. Estos equipos que permiten medir desde uno a varios gases en forma simultánea,
4495 entregan la concentración de estos y además se pueden programar para que indiquen niveles
4496 peligrosos de concentración a través de una alarma luminosa y sonora. Utilizan sensores que
4497 permiten medir gases específicos, por lo que no pueden medir la concentración de cualquier gas
4498 (ver Figura 11-5).

4499

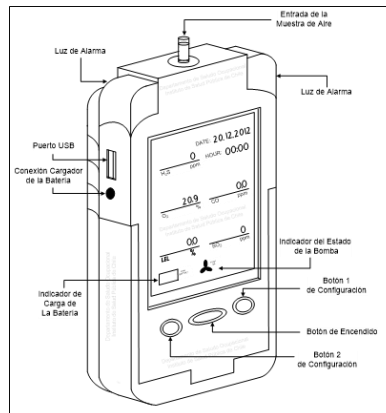


Figura 11-5. Equipo Detector de Gases.

4500

4501

4502

4503 **11.3.2. Detector de Oxígeno.**

4504 Los detectores de gases, por lo general, tienen en su configuración básica un sensor que permite la
 4505 medición de la concentración de oxígeno que se encuentra en el aire. La disminución de la
 4506 concentración de oxígeno se puede deber a que hubiese sido desplazado por otro gas, que puede
 4507 ser tóxico. Por eso, en el caso de tener una lectura anormal de oxígeno se debe sospechar que hay
 4508 un gas o vapor tóxico y se requiere tomar medidas de precaución (ver figura 11-6).



Figura 11-6. Detector de oxígeno

4509

4510

4511

4512 **11.3.3. Detector de Explosividad.**

4513 Este tipo de equipos son capaces de determinar el porcentaje del límite LEL de un gas o vapor
 4514 específico presente en un ambiente. Hay que aclarar que este equipo no mide el porcentaje del gas
 4515 o vapor en el aire, sino que el porcentaje de éste en relación a su límite LEL. Esto quiere decir, que
 4516 cuando el equipo indique el 100%, se ha llegado o se ha superado el límite LEL del gas o vapor.
 4517 Además, se debe tener en cuenta que estos equipos se calibran con un gas patrón específico, por lo
 4518 tanto, en presencia de este gas se obtendrá una medición que coincide con el porcentaje de su límite

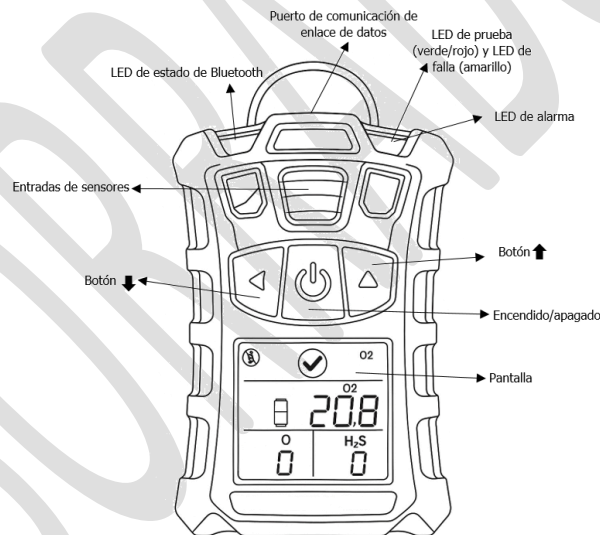
4519 LEL. Existen tablas que permiten conocer el valor de otras sustancias a través de la medición del
 4520 límite del gas patrón, las cuales deben ser entregadas por el fabricante del equipo (ver Tabla 11-3).

4521 **Tabla 3. Gas Metano como Patrón para la Calibración del Límite LEL.**

Sustancia	Fórmula	LEL (%)
Amoniaco	NH ₃	120
Metano	CH ₄	100
Hidrógeno	H ₂	90
Etanol	C ₂ H ₆ O	65
Propano	C ₃ H ₈	55
Butano	C ₄ H ₁₀	55
Acetona	C ₃ H ₆ O	55
Pentano	C ₅ H ₁₂	45
Tolueno	C ₇ H ₈	35

4522 El amoniaco es la única sustancia que supera el 100%, por lo que es imposible que con un equipo
 4523 calibrado con metano como gas patrón, nos indique el límite LEL de esta sustancia (ver figura 11-7).

4524



4525

4526

Figura 10-7. Equipo Explosímetro.

4527

4528 **11.4. SELECCIÓN DE EQUIPOS DE DETECCIÓN DE GASES SEGÚN EL TIPO DE GAS**

4529 Los equipos de detección usan diferentes tipos de sensores según el tipo de gas o vapor que se
 4530 desea medir, como se puede ver en la Tabla 4. Estos sensores se clasifican según los riesgos que se

4531 producen al exponerse a un gas o vapor de una sustancia química, es decir, si son tóxicos,
4532 inflamables o si se analiza su presencia.

4533

Tabla 11-4. Selección del Tipo de Sensor Según el Gas o Vapor a Medir.

Tipo de Gas o Vapor	Tipo de Sensor
Tóxico	<ul style="list-style-type: none">• Electroquímico• Estado Sólido
Combustible	<ul style="list-style-type: none">• Catalítico• Estado Sólido• Infrarrojo
Compuestos Orgánicos Volátiles	<ul style="list-style-type: none">• Fotoionización
Hidrocarburos Totales	<ul style="list-style-type: none">• Llama Ionizante
Otros	<ul style="list-style-type: none">• Conductividad Térmica• Colorimétrico

4534

4535

4536 En la Tabla 11-5 se pueden observar las ventajas y desventajas que presentan los equipos detectores
4537 de los gases o vapores.

4538 **Tabla 11-5. Ventajas y Desventajas de los Distintos Tipos de Sensores.**

Tipo Sensor	Ventajas	Desventajas
Semiconductor	Solidez mecánica, funciona bien en condiciones de alta humedad.	Susceptible a contaminantes y cambios en condiciones ambientales. Complejidad de efectos en respuestas no lineales.
Conductividad Térmica	Mide concentraciones de % v/v de gas binario en ausencia de oxígeno	Rango limitado de gases, no puede medir gases con conductividad próximas al aire, mantenimiento alto.
Gas Infrarrojo	Menos sensible a los errores de calibración, no hay modos de fallos ocultos, se puede utilizar en atmósferas inertes.	Detección de gases inflamables solo en el rango % LEL, consumo alto de energía, su ubicación es crítica.
Infrarrojo de Camino Abierto	Se puede detectar una fuga con mayor facilidad, no hay modo de fallos ocultos, puede detectar concentraciones bajas, su ubicación no es tan crítica, puede detectar sustancias tóxicas.	Su precio es alto, la ruta de detección se puede obstruir, no es adecuado para su uso en zonas pequeñas.
Electroquímico	Mide gases tóxicos en concentraciones relativamente bajas, se puede detectar una amplia variedad de gases, muy bajo consumo energético.	Requiere de ambientes con oxígeno para funcionar, su ubicación es crítica.
Catalítico	Mide la inflamabilidad de los gases a un bajo costo.	Se puede envenenar con plomo, cloro y siliconas que dan como error sin detectar, requiere de ambientes con oxígeno para funcionar, alto consumo de energía, su ubicación es crítica.

4539

4540

4541 **CAPITULO XII**

4542 **MUESTREO DE CONTAMINANTES QUIMICOS AMBIENTALES CON**
4543 **MONITORES PASIVOS**

4544

4545

4546 **12.1. TOMA DE MUESTRA PASIVA**

4547 La toma de muestra pasiva permite recolectar contaminantes ambientales para su análisis posterior
4548 en el laboratorio, sin forzar el flujo de aire a través del medio de muestreo.

4549 Este sistema, aunque está limitado a la captación de contaminantes en fase gaseosa o vapor y no
4550 requiere el uso de bombas de muestreo portátiles, resulta de interés en Higiene Ocupacional debido
4551 a los problemas asociados con la calibración, el mantenimiento y la estabilidad de funcionamiento
4552 de dichas bombas.

4553 Como consecuencia de este interés, se han desarrollado estudios teóricos y prácticos que han
4554 permitido investigar y optimizar los parámetros que rigen este método de muestreo.

4555 Conocer el fundamento teórico de este tipo de muestreo y su desempeño práctico permite evaluar
4556 de manera más precisa sus posibilidades de aplicación en el campo de la Higiene Ocupacional.

4557

4558 **12.1.1. FUNDAMENTO TEÓRICO. FENÓMENOS DE DIFUSIÓN Y PERMEACIÓN**

4559 El procedimiento de captación pasiva de muestras se fundamenta en los fenómenos de difusión y
4560 permeación, mediante los cuales las moléculas de un gas, en constante movimiento, pueden
4561 difundirse espontáneamente a través de la masa de otro gas hasta distribuirse uniformemente, así
4562 como atravesar una membrana sólida.

4563 Estos fenómenos están regidos por leyes físicas que permiten evaluar teóricamente el
4564 procedimiento de captación de muestras. A partir de este esquema teórico, es posible definir un
4565 esquema práctico, identificando los parámetros básicos del método y las variantes que permiten su
4566 implementación.

4567

4568 **12.2. ESQUEMA TEÓRICO Y PRÁCTICO**

4569 **12.2.1. Esquema Teórico por Difusión**

4570 Sea un tubo abierto por uno de sus extremos y cerrado por el otro, tal como se muestra en la Figura
4571 11-1. Si este tubo se expone a un ambiente contaminado, el contaminante se difundirá hacia su
4572 interior con una intensidad que obedece a la siguiente expresión, correspondiente a la Primera Ley
4573 de Fick, relativa al fenómeno de difusión:

4574

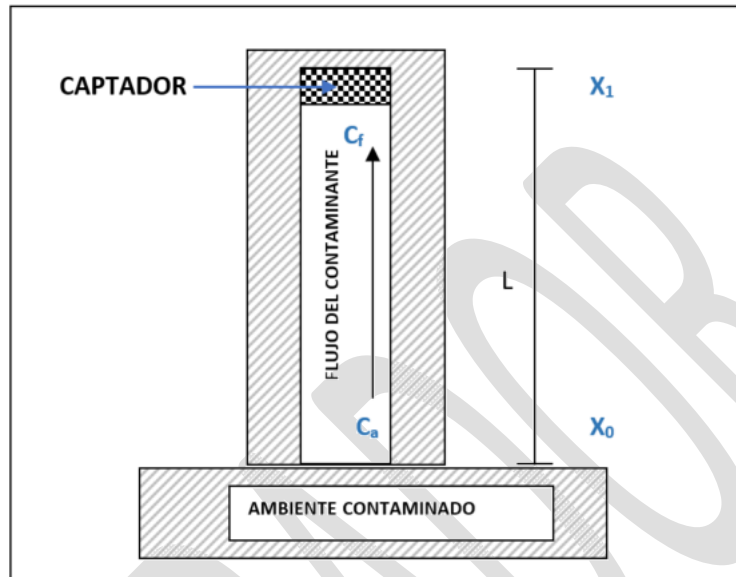
4575

$$q = -D x A \frac{dC}{dX} \quad (1)$$

4576

Donde:

- 4577 q = Velocidad de transferencia (moles /s)
- 4578 D = Coeficiente de difusión (cm^2/s)
- 4579 A = Área de la sección del tubo (cm^2)
- 4580 $\frac{dC}{dx}$ = Gradiente de concentración a lo largo del interior del tubo (moles \times $\text{cm}^{-1}/\text{cm}^3$)
- 4581



4582

4583 **Figura 12-1. Esquema del Proceso de Difusión.**

- 4584
- 4585 Al cabo de un tiempo el contaminante avanza a lo largo del tubo, llegando al fondo de éste.
- 4586 Considerando el cambio de concentración (ΔC) a lo largo del camino de difusión (ΔX), se tiene que:

4587

4588
$$\Delta C = C_a - C_f$$

4589
$$\Delta X = X_0 - X_1 = -L$$

4590
$$q = -D \times A \frac{\Delta C}{\Delta X} = D \frac{A}{L} (C_a - C_f) \quad (2)$$

4591 Donde:

4592 q = Velocidad de transferencia de moles (moles/s)

4593 L = Longitud del camino de difusión (cm)

4594 C_a = Concentración ambiental del contaminante (moles/ cm^3)

4595 C_f = Concentración del contaminante en el fondo del tubo (moles/ cm^3)

4596

4597 Si en el fondo del tubo se coloca una sustancia capaz de captar completamente el contaminante a
4598 medida que éste la alcanza, se cumplirá que $C_f=0$. En estas condiciones, el proceso de difusión no
4599 se interrumpe, por lo que la expresión se simplifica de la siguiente forma:

4600

$$4601 \quad q = D \frac{A}{L} C_a \quad (3)$$

4602 y al cabo de un tiempo determinado se cumplirá que:

4603

$$4604 \quad q \times t = M = D \frac{A}{L} C_a \times t \quad (4)$$

4605 Donde:

4606 M = Masa total de contaminantes transferido (moles)

4607 T = Tiempo de exposición (segundos)

4608

4609 Luego, la ecuación (4) se puede expresar:

4610

$$4611 \quad C_a = \frac{M \times L}{D \times A \times t} \quad (5)$$

4612

4613 Esta fórmula expresa la concentración ambiental del contaminante en función de parámetros
4614 experimentales que pueden transformarse materialmente en un dispositivo de captación de
4615 muestra.

4616

4617 **12.2.2. Esquema Práctico**

4618 En la práctica se suelen utilizar captadores compuestos, tal como en la Figura 11-2. Se distinguen 3
4619 partes:

- 4620 a. Una zona frontal, en la cual la penetración del contaminante ocurre mediante un
4621 proceso de difusión o de permeación, según se trate de un dispositivo poroso o de una
4622 membrana permeable
- 4623 b. Una zona central de difusión libre.
- 4624 c. Una zona de captación en el fondo.

4625 Los espesores o profundidad de cada zona son L_1 , L_2 y L_3 respectivamente y son variables, como
4626 también la geometría de la sección frontal que puede ser circular, rectangular, etc.

4627

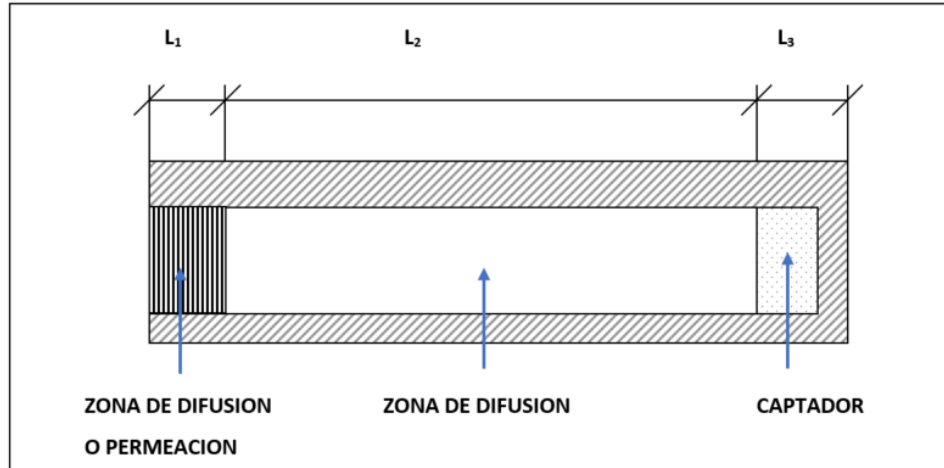


Figura 12-2. Zonas de un Monitor Pasivo. (Dispositivo Práctico para Captación Pasiva).

El proceso de penetración del contaminante, desde el exterior del dispositivo hasta su retención en el captador ubicado en el fondo, depende de las características propias de cada una de las zonas descritas y, en su conjunto, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Ca = K_i \frac{M}{t}$$

Donde:

Ca : Concentración ambiental del contaminante

M : Masa total de contaminante transferido (moles)

T : tiempo (segundos)

K_i : constante integrada (s/cm^3)

La constante K_i engloba parámetros de tipo geométricos característicos del captador y del coeficiente de difusión en este caso de permeación que son propios de las sustancias a captar, por lo cual deben calcularse experimentalmente

12.6.1 Condiciones de validez del sistema pasivo.

- Que el proceso de difusión no sea perturbado por el movimiento macroscópico del aire en el interior del captador. Se ha probado experimentalmente que cuando la velocidad frontal del aire es mayor de 7,5 cm/s no se produce ninguna gradiente apreciable frente al muestreador.
- Que el material utilizado para la adsorción del contaminante sea eficaz, es decir, que sea capaz de mantener contacto con la superficie una concentración prácticamente nula del contaminante.

- 4653 c. Que se conozca la masa captada por el adsorbente. Esto obliga a disponer de un
4654 método analítico para medirla, habitualmente cromatografía gaseosa.
- 4655 d. Conocer exactamente el tiempo de muestreo.
- 4656 e. Que se conozca experimentalmente el coeficiente de difusión D y los parámetros del
4657 diseño (L y A) y que puedan relacionarse entre sí por la fórmula:

4658
$$K_i = \frac{L}{D \times A}$$

- 4659 f. Que la acción de la humedad sobre el captador no disminuye su capacidad de adsorción
4660 o absorción.

4661

4662 **12.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MONITORES PASIVOS**

4663 Existe una amplia variedad de monitores pasivos disponibles en el mercado, los cuales se presentan
4664 en diversas formas, circulares, rectangulares o cilíndricas, que están fabricados con distintos
4665 materiales, dimensiones y pesos reducidos. La principal diferencia entre ellos radica en los
4666 materiales empleados como soportes de captación, que determinan su capacidad para medir una
4667 gran variedad de sustancias.

4668 Se distinguen principalmente dos tipos de monitores pasivos: los de tubo y los de cassette. Los
4669 primeros operan exclusivamente por el fenómeno de difusión, mientras que los segundos se basan
4670 en los fenómenos combinados de difusión y permeación, permitiendo la captación de distintos
4671 compuestos según su diseño y material adsorbente.

4672 **12.3.1. Monitores Pasivos de Tubos**

4673 Son aquellos diseñados para captar: Monóxido de carbono, ácido sulfhídrico, anhídrido sulfuroso,
4674 amoníaco, aminas, dióxidos de nitrógeno, anhídrido carbónico, ácido cianhídrico, cloro, ácido
4675 clorhídrico.

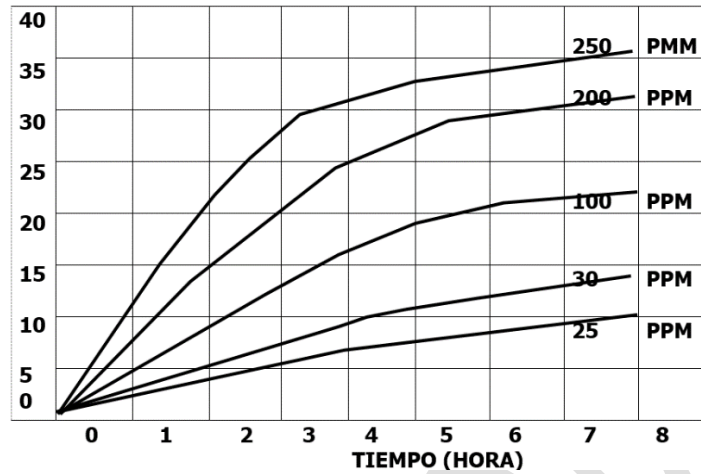
4676 Estos Monitores Pasivos consisten en un tubo sellado que contiene una sustancia química o un papel
4677 impregnado con ella. Esta sustancia cambia de color cuando se expone a un contaminante. Los
4678 dosímetros están calibrados de tal manera que el largo de la superficie coloreada por efecto de la
4679 reacción del contaminante, en un tiempo determinado, indica una concentración específica. Todos
4680 los tubos tienen impresa una escala para medir la concentración. Esta acción se efectúa quebrando
4681 el tubo en la zona estrangulada, para que de esta forma ingrese el contaminante al interior del tubo.

4682 Algunos tubos tienen un filtro previo para absorber interferencias (humedad, etc.). Además, poseen
4683 un soporte con una pinza para colocar el tubo cerca de la zona respiratoria del trabajador.

4684 Acompaña también a estos dosímetros una carta gráfica que indica distintas concentraciones, en
4685 ppm, en función de la longitud de la zona coloreada y del tiempo (horas), tal como se observa en la
4686 figura 12-3.

4687

DISIMETRO MONOXIDO DE CARBONO



4688

4689

Figura 12-3. Carta Grafica de Concentraciones de Monitores Pasivos de Tubo.

4690

12.3.2. Monitores Pasivos de Cassette

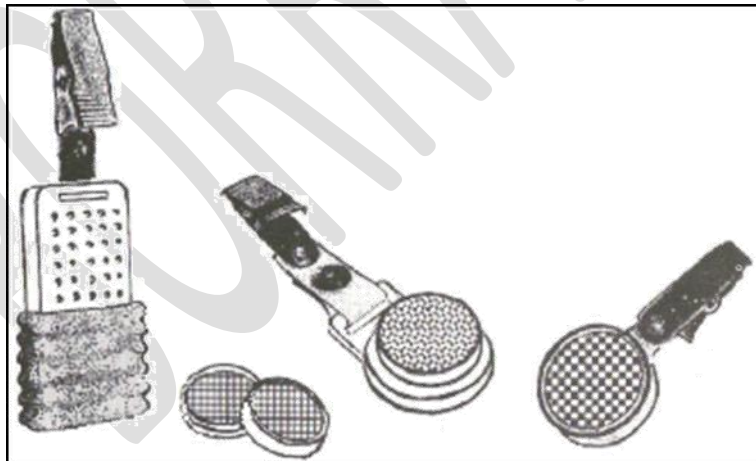
4692 Estos Monitores Pasivos trabajan por permeación y difusión. Poseen una pieza que permite
4693 colocarlo cerca de la zona respiratoria del trabajador, y al fondo del cassette hay una lámina de
4694 carbón activado que permite adsorber los vapores orgánicos del aire ambiental.

4695 Una vez tomada la muestra, los compuestos orgánicos son desorbidos y analizados por
4696 cromatografía gaseosa para determinar la concentración de gas o vapor.

12.4.2 Tipos de monitores pasivos. Figura 12-4.

4697

4698



4699

4700

12.3.3. Ventajas y desventajas en el uso de monitores pasivos

- a. La simplicidad.

4701

4702

4703 b. La facilidad de empleo. No se requiere ni mantenimiento ni calibración.

4704 c. Posibilidad de muestreos prolongados.

4705 d. Mínima probabilidad de errores personales.

4706 **Desventajas**

4707 a. Sensibilidad del sistema pasivo frente a factores ambientales físicos y químicos.

4708 b. Su evaluación no es instantánea, requiere de un laboratorio en el caso de los Monitores
4709 Pasivos de Cassette.

4710

4711 **12.4. Transporte y Almacenamiento**

4712 Los monitores pasivos deben mantenerse bajo los mismos cuidados que los dispositivos de
4713 muestreo activo. En el caso de aquellos que emplean materiales de captación por adsorción, es
4714 fundamental controlar la temperatura a la que son expuestos; por ello, se recomienda su transporte
4715 en nevera siempre que sea posible. En estas condiciones, y siempre que los monitores pasivos se
4716 mantengan correctamente sellados, su estabilidad es adecuada para la práctica analítica habitual,
4717 permitiendo su almacenamiento refrigerado por un período de hasta dos semanas.

4718

4719 **CAPÍTULO XIII**

4720 **EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS SEGÚN LOS**
4721 **CRITERIOS ESTABLECIDOS EN LA NORMA UNE-EN 689:2029, PARTE 1.**

4722

4723

4724 **13.1. Introducción.**

4725 Una de las acciones más importantes que debe realizarse en la práctica de Higiene Ocupacional es
4726 la evaluación de riesgos derivados de la exposición por inhalación de un agente químico peligroso
4727 que incluye la medición de las concentraciones del agente químico en el aire.

4728 El objetivo de la estrategia de muestreo y el procedimiento de medición es obtener mediciones
4729 válidas y representativas de la exposición de los trabajadores(as) para su comparación con el valor
4730 límite permisible, teniendo en cuenta todas las condiciones posibles que razonablemente se puede
4731 esperar que estén presentes a lo largo del tiempo.

4732 La medición representativa de la exposición laboral a agentes químicos además de ser compleja,
4733 representa desafíos importantes desde el punto de vista técnico y económico, debido
4734 principalmente a la variabilidad de la exposición y a los diferentes procesos y productos que afectan
4735 a la exposición.

4736 Las diferentes condiciones de los lugares de trabajo pueden generar diferentes concentraciones,
4737 esto puede implicar la presencia de diversos agentes químicos y pueden presentar, por lo tanto,
4738 condiciones de exposición específicas, que en general son difíciles de evaluar y cuantificar
4739 principalmente en las empresas más pequeñas.

4740 En este sentido, evaluar la exposición de los trabajadores(as) a agentes químicos y afirmar con
4741 certeza que no se excede el Límite Permissible requeriría la medición de la exposición de cada
4742 trabajador(a) y de cada día trabajado. Lamentablemente, esta aproximación no es viable o practica
4743 para la mayoría de los agentes químicos listados en el Decreto Supremo N° 594 Sobre Condiciones
4744 Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo del Ministerio de Salud, MINSAL, debido
4745 a las limitaciones de las técnicas de medición y su coste.

4746 Una forma de abordar este problema es utilizar la estrategia descrita en la norma *UNE-EN 689:2019*
4747 *Exposición en el Lugar de Trabajo, Medición de la Exposición por Inhalación de Agentes Químicos,*
4748 *Estrategia para Verificar la Conformidad con los Valores Límite de Exposición Profesional.* Esta norma
4749 proporciona a las empresas, organismos administradores, profesionales del área de la higiene
4750 ocupacional u otros interesados, un procedimiento para resolver el problema de la variabilidad y
4751 utilizar un número relativamente pequeño de mediciones para demostrar con un alto nivel de
4752 confianza, que es improbable que los trabajadores(as) estén expuestos a concentraciones que
4753 superen el Valor Límite Permissible. Para reducir el número de mediciones de la exposición y, por
4754 tanto, el coste de la evaluación, se toman muestras de aire personales entre trabajadores(as)
4755 pertenecientes a un grupo de exposición similar (GES), considerando para demostrar de manera
4756 fiable la conformidad con el Límite Permissible, la aplicación de una herramienta estadística descrita
4757 en el *Anexo F* de la *Norma UNE-EN 689:2019*.

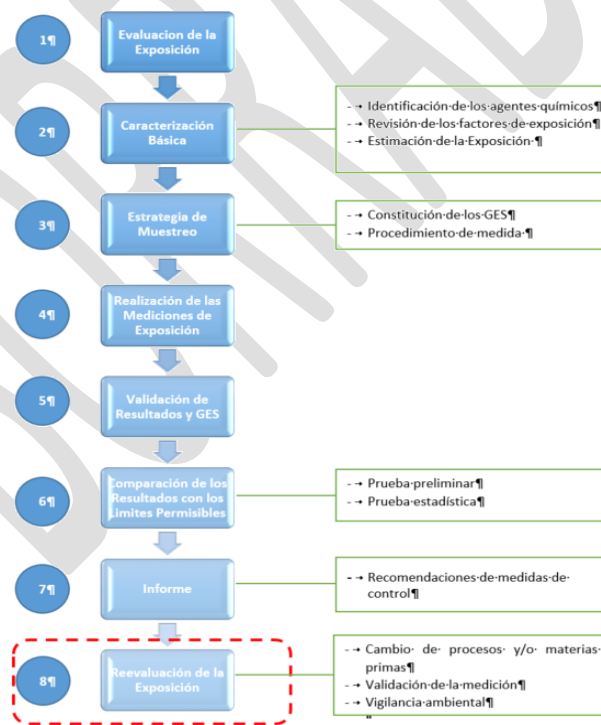
4758 **13.2. Evaluación de la Exposición a Agentes Químicos a través de la Norma UNE-EN 689:2019**

4759 Evaluación de la Exposición a Agentes Químicos El procedimiento de evaluación de agentes químicos
 4760 presentes en el lugar de trabajo no es sencillo puesto que la evaluación de la exposición laboral a
 4761 agentes químicos basada en el muestreo del aire requiere diferentes procedimientos para
 4762 determinar la representatividad de las mediciones. En este sentido, es muy importante justificar el
 4763 número de muestras y el tiempo de medición, su ubicación, el número de trabajadores(as) a
 4764 muestrear, el número de jornadas durante las que se van a realizar las mediciones, así como también
 4765 el tratamiento de los datos de las muestras, las cuales, además, deben ser efectuadas por un
 4766 profesional con formación y experiencia en higiene industrial y en las técnicas de medición de
 4767 agentes químicos.

4768 La Norma UNE-EN 689:2019 señala que el proceso de evaluación de riesgos comienza con una
 4769 evaluación inicial de la exposición laboral seguida de reevaluaciones periódicas. La evaluación inicial
 4770 de la exposición considera las siguientes etapas:

- 4771 - La caracterización básica;
- 4772 - La estrategia de muestreo
- 4773 - La realización de las mediciones de exposición.
- 4774 - Validación de resultados y grupos de exposición similar (GES)
- 4775 - Comparación de los resultados con los límites permisibles
- 4776 - Informe técnico
- 4777 - Reevaluación de las mediciones.

4778 En la Figura N° 13.1 se muestra una visión esquemática de las etapas que contempla el
 4779 procedimiento de evaluación de la exposición a agentes químicos.



4780

4781 **Figura N° 13.1:** Procedimiento para la evaluación de la exposición

4782 **13.3. Caracterización Básica.**

4783 El proceso de caracterización básica constituye la primera etapa en el procedimiento de evaluación
4784 de riesgos de agentes químicos. En esta etapa el profesional a cargo de la evaluación debe identificar
4785 los agentes químicos, las condiciones en las cuales se produce la exposición, las características del
4786 lugar de trabajo, los tipos de procesos y tareas, estación del año y condiciones ambientales
4787 (temperatura, humedad, velocidad del viento), el tiempo de exposición de los trabajadores(as), las
4788 medidas de control implementadas para disminuir la exposición, etc. Obtener esta información por
4789 un profesional que cuente con cierto grado de experiencia, permitirá efectuar una estimación de la
4790 exposición más o menos cercana a la realidad y por lo tanto determinar el riesgo potencial al que
4791 puede estar expuesto el trabajador(a). Para esta etapa se pueden utilizar equipos de lectura directa,
4792 que permiten obtener resultados inmediatos y pueden proporcionar información válida acerca del
4793 nivel de exposición aproximado, el patrón de exposición y de la variabilidad de la exposición en el
4794 tiempo, el espacio y entre trabajadores (UNE-EN 689:2019). Otras metodologías de apoyo para esta
4795 etapa son los métodos cualitativos, los cuales pueden ser aplicados con el objetivo de estimar la
4796 exposición o la correcta implementación de las medidas de control de riesgos, como son los
4797 métodos de bandas de control publicados por instituciones de referencia internacional como el
4798 Health and Safety Executive del Reino Unido (HSE), el Institut National de Recherche et de Sécurité
4799 de Francia (INRS) y el Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo de España (INSST).
4800 Nuestra institución cuenta con una adaptación de la metodología Control Banding del Reino Unido,
4801 publicada en la nota técnica N° 64 con el nombre "Criterios Básicos para la Aplicación de Medidas
4802 de Control a Través de la Evaluación Cualitativa Simplificada por Exposición Inhalatoria. Metodología
4803 Control Banding".

4804 La Norma UNE-EN 689:2019, especifica que la caracterización básica de los factores de
4805 determinantes de una exposición se realiza en tres pasos:

- 4806 - Identificación de los agentes químicos;
- 4807 - Revisión de los factores de exposición del lugar de trabajo;
- 4808 - Estimación de la Exposición.

4809 **13.3.1. Identificación de los agentes químicos.**

4810 En esta etapa del proceso es necesario preparar un listado de todos los agentes químicos presentes
4811 en el lugar de trabajo. Para realizar este trabajo es fundamental obtener información específica y
4812 confiable de cada una de las sustancias, una fuente importante de información y consulta la
4813 constituyen las fichas de datos de seguridad. Alguno de los antecedentes que se deben recabar para
4814 el listado son:

- 4815 - Las materias primas, los productos primarios, las impurezas, los productos intermedios, los
4816 productos finales, los productos de la reacción y subproductos, entre otros.;
- 4817 - Los agentes químicos individuales, identificados con sus números de registro (CAS, EC).;
- 4818 - Propiedades toxicológicas, clasificación y etiquetado;
- 4819 - Límites permisibles (ponderado, temporal, absoluto);
- 4820 - Nivel IDLH;
- 4821 - Vías de ingreso (parenteral, dérmica, inhalatoria);
- 4822 - Otra información de interés como la cantidad utilizada, presión de vapor, temperatura,
4823 concentración de saturación, capacidad de emisión de polvo, tipo de fracción del aerosol
4824 (inhalable, torácico, respirable).

4825 **13.3.2. Revisión de los factores de exposición del lugar de trabajo**

4826 Los procesos y procedimientos de trabajo deben ser evaluados con el objetivo de estimar la
4827 exposición de los trabajadores(as) expuestos a agentes químicos, para lograr lo anterior se debe
4828 realizar una revisión exhaustiva de los factores de exposición del lugar de trabajo, a destacar:

- 4829 - La organización del trabajo: actividad, tarea puesto de trabajo, jornada de trabajo,
4830 funciones, etc.;
- 4831 - Los procesos y las técnicas (tipos de procesos, temperatura, humedad, presión, etc);
- 4832 - La distribución y configuración del lugar de trabajo incluyendo espacios confinados,
4833 espacios al aire libre, etc.;
- 4834 - Las medidas y procedimientos de seguridad;
- 4835 - La limpieza y orden del lugar de trabajo (considerando la periodicidad);
- 4836 - Las instalaciones de ventilación, otras formas de control técnico y cualquier información
4837 sobre su rendimiento;
- 4838 - Las fuentes de emisión y las localizaciones con altas concentraciones;
- 4839 - Los periodos, frecuencias y duración de la exposición, teniendo en cuenta la variación de la
4840 exposición a lo largo del día y la estación del año;
- 4841 - La carga de trabajo;
- 4842 - El comportamiento del trabajador(a);
- 4843 - Indicadores de la tasa de actividad o producción.

4844 **13.3.3. Estimación de la exposición.**

4845 En esta etapa el higienista o evaluador⁴⁹ debe recoger toda la información disponible que permita
4846 realizar una estimación confiable de la exposición de los trabajadores(as). Algunas fuentes de
4847 información incluyen:

- 4848 - Resultados de mediciones anteriores del lugar de trabajo, incluyendo las obtenidas con
4849 instrumentos de lectura directa;
- 4850 - Resultados de mediciones anteriores en instalaciones o procesos similares;
- 4851 - Cálculos basados en información cuantitativa relevante;
- 4852 - Modelos de exposición (por ejemplo, modelo control banding)

4853 En cuanto a la conclusión de que una exposición es más baja que el valor límite permisible la norma
4854 UNE-EN-689 señala una serie de casos, a destacar:

- 4855 - La capacidad de liberación es baja debido a las condiciones laborales y las propiedades de
4856 las sustancias (por ejemplo: baja presión de vapor, alto punto de ebullición con baja
4857 temperatura del proceso, baja capacidad para generar polvo);
- 4858 - Las condiciones de operación no pueden dar lugar a la formación de aerosoles;
- 4859 - Solo se usan pequeñas cantidades;
- 4860 - Solo son posibles pequeñas emisiones, por ejemplo, debido a pequeñas superficies de
4861 emisión o actividades de corta duración (<15min).

4862 Finalmente, con los resultados obtenidos en el proceso de caracterización básica la norma UNE-EN
4863 689-2019, señala que el evaluador puede llegar a las siguientes conclusiones:

⁴⁹ Evaluador: Persona que está suficientemente formada y con experiencia en los principios de la higiene industrial y en las técnicas de medición, para llevar a cabo la parte de la evaluación de acuerdo con el estado de la técnica. Norma UNE-ENE 689:2019

- 4864 - La exposición es superior al valor límite permisible (no conformidad). En esta situación el
4865 higienista o evaluador redactará un informe técnico prescribiendo las medidas de control
4866 necesarias para reducir la exposición. Una vez implementadas las medidas de control de
4867 riesgo, se deben realizar nuevas mediciones para verificar la conformidad.
- 4868 - La exposición está muy por debajo del valor límite permisible (conformidad), en esta
4869 situación el higienista o evaluador debe decidir si las mediciones son o no necesarias. En el
4870 caso de que considere que las mediciones no son relevantes, deberá redactar un informe
4871 técnico, indicando los métodos de evaluación que utilizo para llegar a dicha conclusión, así
4872 como también las razones por las cuales no considera necesario realizar mediciones.
4873 Si, por el contrario, debido a las características de la exposición, a la toxicidad del agente
4874 químico o la existencia de una normativa o protocolo específico, el evaluador considera
4875 necesario realizar las mediciones cuantitativas, deberá proponer un plan de muestreo para
4876 efectuarlas, considerando para ello el número mínimo de muestras para demostrar la
4877 conformidad con el valor límite permisible.
- 4878
- 4879 - La información y los diferentes métodos de evaluación aplicados son insuficientes para
4880 decidir sobre la conformidad con el valor límite permisible. En esta situación, el higienista o
4881 evaluador debe continuar y proponer un plan de muestreo.

4882

4883 **13.2.1. Estrategia de Muestreo**

4884 El proceso de medición cuantitativa es el procedimiento esencial para determinar la exposición de
4885 los trabajadores(as) a agentes químicos presentes en el lugar de trabajo. En este sentido, es
4886 importante considerar que para comparar con los valores Límites Permisibles establecidos en el
4887 Decreto Supremo N° 594, Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de
4888 Trabajo, del Ministerio de Salud, MINSAL 1999., las mediciones deben ser fiables y representativas
4889 de la exposición de los trabajadores(as). Cabe destacar que esta tarea no es simple, más bien es
4890 compleja, pues requiere desarrollar una estrategia adecuada para cada situación, la cual, debe estar
4891 fundamentada en la optimización de los recursos técnicos, humanos y económicos. Por tal motivo,
4892 la estrategia de muestreo desarrollada en la norma UNE-EN 689-2019, se fundamenta en dos
4893 aspectos fundamentales:

- 4894 - La constitución de grupos de exposición similar (GES);
4895 - La especificación del procedimiento de medida.

4896

4897 **13.2.2. Constitución de los grupos de exposición similar (GES).**

4898 En la práctica, generalmente no es posible medir la exposición de cada trabajador(a) durante cada
4899 día de trabajo. Para obtener datos cuantitativos de las mediciones de la exposición que permitan la
4900 evaluación de la conformidad con los valores límites permisibles, debe considerarse una
4901 aproximación razonable que permita un mejor aprovechamiento y eficiencia de los recursos. Una
4902 buena práctica para lograr este propósito, es agrupar a los trabajadores(as) en grupos de exposición
4903 similar (GES). Este método, basado en la observación de las condiciones laborales, permite la
4904 medición de la exposición de un pequeño grupo de trabajadores pertenecientes a un GES para la
4905 comparación con el valor límite permisible. En el caso de que las mediciones de la exposición de
4906 algunos trabajadores del GES indiquen que se cumple el límite permisible, es decir conformidad, se
4907 considera entonces que se cumplen para todos los trabajadores(as) que constituyen el GES.

4908 EL GES debe constituirse usando información respecto del perfil de exposición⁵⁰ y la duración de las
4909 tareas desarrolladas en las jornadas de trabajo a lo largo del año. Lo anterior requiere de
4910 especialistas con experiencia en higiene industrial. En general, la información que se requiere
4911 incluye:

- 4912 - El tipo de trabajo de la empresa;
- 4913 - El inventario de las tareas dentro de un trabajo;
- 4914 - El perfil de exposición específico para cada tarea;
- 4915 - Las condiciones en que se realizan las operaciones y las medidas de gestión del riesgo;
- 4916 - La duración y la localización de la exposición dentro de la jornada y a lo largo del tiempo,
4917 determinado por la frecuencia y periodicidad de las tareas;
- 4918 - Nómina de trabajadores.

4919

4920 El número de mediciones deben ser las necesarias para concluir sobre la conformidad de la
4921 exposición con el valor límite permisible. En este caso, se debe considerar el número de
4922 trabajadores(as) que componen el GES para contemplar la posibilidad de realizar mediciones
4923 adicionales a las mínimas necesarias, en especial cuando la verificación de la conformidad de la
4924 exposición con el límite permisible requiera la realización de una Prueba Estadística. Si bien, la
4925 norma UNE-EN 689:2019, no establece una indicación específica, es posible utilizar como referencia
4926 el trabajo publicado por NIOSH el año 1977 (National Institute for Occupational Safety and Health.).

4927 Liedel y Col (NIOSH,1977) infieren la elección del número de trabajadores(as) a muestrear en un GES
4928 bajo la hipótesis de que, entre los individuos seleccionados al azar, se encuentre al menos a uno de
4929 los trabajadores(as) de la más alta exposición. Para determinarlo se utilizan los principios de la
4930 distribución hipergeométrica, la cual se detalla en la siguiente fórmula:

4931

4932 **Fórmula 1:**

4933
$$p = \frac{\binom{N^{\circ}}{x} \binom{N-N^{\circ}}{n-x}}{\binom{N}{n}}; \text{ donde: } \binom{N}{n} = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

4934

donde:

- 4935 n: número de personas trabajadoras que se muestrean;
- 4936 N°: número de personas trabajadoras de mayor exposición dentro del
4937 GES;
- 4938 N: total de personas trabajadoras del GES;
- 4939 1-p: probabilidad de que, entre los n muestreadores, se incluya al menos
4940 una de las personas trabajadoras N° de mayor exposición.

4941

4942

⁵⁰ Perfil de Exposición: La norma UNE-EN 689:2019 lo define como la descripción de las variaciones de la exposición a un agente químico en relación a la serie de actividades definibles dentro de los periodos bajo consideración

4943 En la Tabla 13-1 se indican, para cuatro combinaciones diferentes de N° y p , los trabajadores(as) a
 4944 muestrear (n) en un grupo de N trabajadores(as) para que, al menos, incluya a uno de los N que se
 4945 presume tiene la más alta exposición.

N	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-49	50	>50	$N^\circ=0,1N$
n	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22	$P=0,1$
N	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	36-41	42-50	>50		$N^\circ=0,1N$
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29		$p=0,05$
N	9	7-9	10-14	15-26	27-50	>50								$N^\circ=0,2N$
n	5	6	7	8	9	11								$P=0,1$
N	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	>50						$N^\circ=0,2N$
n	6	7	8	9	10	11	12	14						$P=0,05$

4946 **Tabla 13-1.** Número de trabajadores a muestrear pertenecientes a un GES (Leidel, Busch y Lynch. Occupational
 4947 exposure sampling strategy. NIOSH 1977)

4948

4949 Para entender la tabla anterior, se desarrollarán los siguientes ejemplos:

- 4950 - **Ejemplo 1: Utilizando la combinación $N^\circ=0,1$ y $p=0,05$:** Si de un GES de 30 trabajadores(as)
 4951 ($N=30$) se eligen al azar 18 trabajadores(as) ($n=18$), la probabilidad de muestrear al menos
 4952 a una de las 3 personas trabajadoras (el 10% del total) que tiene mayor exposición sería del
 4953 95% ($1-p=0,95$).
- 4954 - **Ejemplo 2: Utilizando la combinación $N^\circ=0,2$ y $p=0,1$:** Si de un GES de 50 o más
 4955 trabajadores(as) ($N \geq 50$) se eligen al azar 11 trabajadores(as) ($n=11$), la probabilidad de
 4956 muestrear al menos a una de las 10 personas trabajadoras (el 20% del total) que tiene mayor
 4957 exposición sería del 90% ($1-p=0,90$).

4958

4959 13.2.3. Especificación del procedimiento de medición

4960 El objetivo del procedimiento de medición y la estrategia de muestreo es obtener resultados válidos
 4961 y representativos de la exposición de los trabajadores(as) para su comparación con el respectivo
 4962 valor límite permisible. Dado lo anterior, la norma UNE-EN 689:2019, señala que los procedimientos
 4963 de medida utilizados deben estar validados, es decir, deben cumplir requisitos relativos a la
 4964 especificidad, a la sensibilidad, al límite de cuantificación, a la capacidad de los muestreadores, a la
 4965 estabilidad y al transporte, al rango de aplicación y a la incertidumbre. Todos estos parámetros son
 4966 recogidos en diferentes cuerpos normativos internacionales, como son las normas europeas EN 481,
 4967 EN 838, EN 1076, EN 13205-1, EN 13890 y EN 13936.



4968 La responsabilidad del higienista en el procedimiento de medición y estrategia de muestreo es
4969 seleccionar procedimientos que cumplan los requisitos señalados en las normas técnicas y
4970 documentos de referencia. En este sentido, una fuente de información y consulta son los Protocolos
4971 para la Toma de Muestras de Agentes Químicos publicados por el Instituto de Salud Pública de Chile
4972 (ISPCH), el Manual Básico Sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud
4973 Ocupacional del ISPCH, Normas Internacionales, etc. El uso de estos documentos es una garantía
4974 para obtener resultados representativos y confiables.

4975 Para el proceso de muestreo en el lugar de trabajo, se deben utilizar, cuando sea posible, equipos
4976 de muestreo personal, sujetos a la ropa del trabajador(a), de forma tal, que el elemento de
4977 captación (cabezal de muestreo) se situé a la altura de la zona respiratoria del trabajador(a), este
4978 tipo de muestreo se denomina muestreo de tipo personal, es el que proporciona valores más
4979 representativos de la exposición y su objetivo es comparar los resultados de las concentraciones
4980 encontradas con el valor límite permisible. En este sentido, resulta importante considerar que dada
4981 la variabilidad de la concentración de los agentes químicos presentes en las atmosferas de los
4982 lugares trabajo, el muestreo en un punto fijo es generalmente menos representativo de la
4983 exposición del trabajador(a). Asimismo, y como parte de la estrategia de muestreo es necesario
4984 señalar y considerar que los trabajadores(as) deberían ser informados sobre el objetivo de la
4985 medición y de las recomendaciones especiales de su comportamiento durante todo el tiempo de
4986 muestreo.

4987 Otro factor importante que puede influir en la representatividad de las mediciones de la exposición
4988 es la duración del muestreo. Por lo tanto, el tiempo total de muestreo debería ser lo más próximo
4989 posible al periodo de referencia⁵¹ del respectivo valor Límite Permisible (LPP; LPT; LPA).

4990 El número de muestras necesarias para cubrir el tiempo total de muestreo dependerá de la
4991 concentración del agente químico y de su variación a lo largo de la jornada laboral, del límite de
4992 cuantificación de la técnica analítica (Loq) y de algunas limitaciones técnicas, como son la
4993 colmatación del filtro o la saturación del material adsorbente utilizados para captar las sustancias
4994 químicas presentes en el lugar de trabajo. En este sentido, el procedimiento de medida
4995 proporcionará datos relevantes como son el límite de cuantificación del método analítico, el caudal
4996 de muestreo, los tiempos recomendados de muestreo, etc., antecedentes que permiten al higienista
4997 elaborar una estrategia de muestreo con el propósito de determinar concentraciones ambientales
4998 de las sustancias químicas en el intervalo de 0,1 LPP a 2 LPP. Para lo anterior es necesario determinar
4999 el volumen mínimo de muestreo, el cual se calculará a través de la siguiente formula:

5000 **Fórmula 2**

5001
$$V_{\text{minimo}} = \frac{Loq}{(0,1 \times LPP)}$$

5002 De la formula anterior se puede concluir que el volumen de aire muestreado y definido en la
5003 estrategia de muestreo debe ser igual o superior al volumen mínimo de muestreo calculado en la
5004 fórmula 2, es decir: $V_{\text{muestreo}} \geq V_{\text{minimo}}$.

⁵¹ Periodo de referencia: Período especificado de tiempo, establecido para el valor límite de un determinado agente químico. El período de referencia para el límite permisible ponderado (LPP) es habitualmente de 8 horas, y para el límite permisible temporal (LPT), de 15 minutos. Norma UNE-EN 1540:2012. Exposición en el lugar de trabajo. Terminología

5005 Siendo el límite de cuantificación del procedimiento de medida (LOQ) como la razón entre el límite
5006 de cuantificación de la técnica analítica (Loq) y el volumen de muestreo.

5007
$$LOQ = \frac{Loq}{Vmuestreo}$$

5008

5009 De acuerdo al requisito establecido en la Norma UNE-EN 482:2021, el LOQ siempre debe ser igual o
5010 menor que el 10% de la concentración del Limite Permissible Ponderado.

5011 En el caso que la evaluación de la exposición se realice con el propósito de comparar la
5012 concentración encontrada con el límite permisible temporal (LPT), la estrategia de muestreo debe
5013 permitir determinar concentraciones ambientales de los agentes químicos en el intervalo de 0,5 LPT
5014 a 2 LPT. Para esta situación, el volumen mínimo de muestreo se obtiene a partir de la siguiente
5015 formula:

5016 **Fórmula 3**

5017
$$V_{minimo} = \frac{Loq}{(0,5 \times LPT)}$$

5018 De la formula anterior se puede concluir que el volumen de aire muestreado y definido en la
5019 estrategia de muestreo debe ser igual o superior al volumen mínimo de muestreo calculado en la
5020 fórmula 3, es decir: $V_{muestreo} \geq V_{minimo}$.

5021 De acuerdo al requisito establecido en la Norma UNE-EN 482:2021, para este caso el LOQ tiene que
5022 ser menor o igual que el 50% de la concentración del LPT correspondiente. A continuación, se detalla
5023 un ejemplo para calcular el volumen mínimo de muestreo.

5024 En un lugar de trabajo se debe realizar una evaluación para determinar la exposición a un
5025 agente químico, el Limite Permissible Ponderado es de $0,05 \text{ mg/m}^3$ y el límite de
5026 cuantificación es de 3 ug/muestra . Para el muestreo se utiliza un ciclón conductor de
5027 plástico para fracción respirable que trabaja a 3 l/min .

5028
$$V_{minimo} = \frac{Loq}{(0,1 \times LPP)}$$

5029

5030
$$V_{minimo} = \frac{3 \text{ ug}}{(0,1 \times 0,05 \text{ mg/m}^3)} = 600 \text{ litros}$$

5031

5032 Como el caudal de trabajo del ciclón (especificado por el fabricante) es de 3 l/min , el tiempo
5033 de muestreo para captar el volumen mínimo de muestreo se determina de la siguiente
5034 manera:

5035

5036
$$tm = \frac{600 \text{ litros}}{3 \text{ l/min}} = 200 \text{ minutos}$$

5037

5038 De lo anterior podemos deducir que una correcta estrategia de muestreo para determinar la
5039 exposición a este agente químico debe considerar volúmenes de muestreo superiores a 600 litros.
5040 Un volumen inferior a 600 litros no permite la determinación de concentraciones iguales o inferiores
5041 al 10% del LPP.

5042 En el caso de que el método analítico o procedimiento de medida (toma de muestra +análisis) no
5043 pueda ser capaz de cuantificar concentraciones iguales o inferiores al 10% del LPP (LOQ > 10% LPP),
5044 o iguales o inferiores al 50% del LPT (LOQ > 50% LPT) (Norma UNE-EN 482:2021), se justificará que
5045 se utilicen procedimientos analíticos suficientemente sensibles y la mayor cantidad de volumen de
5046 muestreo posible, para garantizar que se ha conseguido con el procedimiento de medida el LOQ
5047 más bajo alcanzable, dadas las condiciones de la exposición y el estado del arte.

5048

5049 **13.3. REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES DE EXPOSICIÓN**

5050 En esta etapa es fundamental que el higienista (evaluador) se cerciore y asegure que los
5051 trabajadores(as) estén informados sobre los objetivos del muestreo. El higienista debe comprobar
5052 que la actividad laboral es consistente con lo observado en la etapa de estrategia de muestreo, así
5053 como también, controlar el muestreo permaneciendo en el lugar o disponiendo que se haga por
5054 otra persona que esté suficientemente formada y experimentada en el control efectivo de la tarea
5055 de muestreo. Para la interpretación de los resultados, es necesario que para cada muestra se
5056 recopile y registre permanentemente la siguiente información:

- 5057 - Identificación del GES y de los trabajadores(as);
- 5058 - Descripción del lugar de trabajo;
- 5059 - Agentes químicos relevantes para la actividad;
- 5060 - Tareas realizadas;
- 5061 - Horas de trabajo diario, semanal y duración de la exposición a los agentes químicos
5062 identificados;
- 5063 - Medidas de control implementadas (ingenieriles, administrativas y entrega de EPP);
- 5064 - Condiciones ambientales relevantes del lugar de trabajo (como: temperatura, humedad
5065 relativa, presión atmosférica, velocidad del aire);
- 5066 - Interferencias producto de actividades laborales cercanas u otras (por ejemplo, fumar);
- 5067 - Otras actividades presentes o inusuales, incidentes, paralización del proceso, etc.;
- 5068 - Información del muestreo, tal como identificación de las muestras y del equipo de muestreo
5069 utilizado, caudal de muestreo, inicio y final del muestreo, etc.

5070

5071 **13.4. VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS Y GES**

5072 **13.4.1. Validación de las mediciones**

5073 Cuando los resultados de las mediciones están disponibles, cada medición debe evaluarse utilizando
5074 la información recogida durante el muestreo, y por comparación con las otras mediciones del GES.

5075 Si el resultado es inusualmente alto o bajo, debe considerarse la posibilidad de que sea debido a
5076 errores de muestreo o análisis, si este es el caso, entonces el resultado se debe descartar.
5077 Considerando, antes de descartar la medición, todas las anotaciones, registros e información
5078 obtenida y analizada para identificar cada una de las mediciones en las que han ocurrido accidentes,
5079 mal funcionamiento del tren de muestreo o manipulación de los equipos por personal no calificado.



5080 Si la irregularidad no puede ser detectada, la medición no debe excluirse. Si las mediciones son
5081 excluidas, puede ser necesario repetir las mediciones hasta obtener un número de muestras
5082 suficientemente representativas para comparar con los respectivos Límites Permisibles.

5083 Cualquier eliminación de resultados y sus motivos deben ser expresamente descritas en el informe.

5084

5085 **13.4.2. Validación de los GES.**

5086 Una vez que han sido aceptado los resultados de las mediciones, estos deben ser utilizados para
5087 validar la composición de cada GES. Basado en la opinión experta y la información recogida durante
5088 las mediciones y el proceso de caracterización básica, con esta información el higienista debe ser
5089 capaz de confirmar cada GES. La Norma UNE-EN 689:2019 señala que cuando el número de
5090 mediciones válidas es de al menos 6, debe comprobarse la distribución de las concentraciones.

5091 En general, la distribución de las concentraciones de agentes químicos presentes en el lugar de
5092 trabajo, habitualmente siguen una distribución logarítmico – normal. Para comprobar si todos los
5093 individuos pertenecen al mismo GES, y si la distribución de las mediciones tiene un comportamiento
5094 log-normal, debe analizarse el gráfico de probabilidad logarítmica de los datos.

5095 Una consideración importante y que complejiza la toma de decisiones es que dos trabajadores(as)
5096 que realizan la misma tarea pueden no tener la misma exposición. Esta situación, conocida como
5097 variabilidad entre trabajadores(as), puede llevar a que las concentraciones encontradas en uno de
5098 los trabajadores(as) no pueden aplicarse al resto de los trabajadores(as) que realizan nominalmente
5099 el mismo trabajo. Asimismo, es necesario considerar otras variables que pueden causar variaciones
5100 en la concentración, una de ellas corresponde a la variabilidad de la concentración que se puede
5101 generar en los diferentes días que componen la jornada laboral semanal, dando lugar al concepto
5102 de variabilidad intra-trabajador(a).

5103 En función de las variables mencionadas anteriormente, se puede concluir que si las
5104 concentraciones encontradas muestran que uno o más trabajadores(as) presentan una exposición
5105 inusual, que parece inconsistente con la distribución de los resultados del GES, deben investigarse
5106 las razones y ese grupo de trabajadores(as) pueden tratarse por separado, por ejemplo, formando
5107 un nuevo GES y por lo tanto, si es necesario, realizar más mediciones. Con todo, cualquier cambio o
5108 modificación de un GES debe señalarse y explicarse en el informe técnico.

5109 Finalmente, si los factores que determinan la exposición no sufren cambios significativos podríamos
5110 concluir que el GES está bien constituido, en este sentido se deberá determinar si las
5111 concentraciones se ajustan, en la mayoría de los casos, a una distribución log normal o, en algunos
5112 casos a una distribución normal. Existen diferentes métodos estadísticos que permiten determinar
5113 el tipo de distribución al que se ajustan los resultados. Desde programas informáticos de
5114 tratamiento de datos, como por ejemplo el EASC-IHSTAT de la AIHA, Excel, Altrex Chemie del INRS.
5115 Etc. El método propuesto en la Norma UNE-EN 689 es la prueba Shapiro –Wilk, la cual es válida hasta
5116 un número máximo de 50 resultados.

5117

5118 **13.4.3. Comparación de los resultados con los Límites Permisibles.**

5119 La concentración de agentes químicos obtenidas a través del proceso de evaluación de la exposición
5120 requiere comparar el valor de la concentración media del agente químico con el correspondiente

5121 Limite Permissible (LPP, LPT, LPA). En este sentido, es imprescindible que las muestras sean
5122 representativas y confiables, para lo cual se deben considerar aspectos referentes a la toma de
5123 muestra y análisis de las muestras. Los primeros permitirán asegurar la representatividad de las
5124 muestras tomadas y los segundos la confiabilidad de los resultados.

5125 El *Manual Básico Sobre Mediciones Y Toma De Muestras Ambientales Y Biológicas En Salud*
5126 *Ocupacional* del Instituto de Salud Pública de Chile señala que para que una muestra sea
5127 considerada representativa, se debe verificar el cumplimiento de lo siguiente:

- 5128 - **Tipo de muestra.** Según el propósito de muestreo se determinará cada muestra. Cuando se
5129 trate de verificar el cumplimiento de un límite permisible, la muestra deberá ser de tipo
5130 personal, es decir, el trabajador(a) evaluado(a) deberá portar el tren de muestreo. Todos
5131 los demás propósitos, podrán utilizar muestreos del ambiente de trabajo, y según las
5132 circunstancias combinar con muestreos personales.
- 5133 - **Tiempo de muestreo.** Para la verificación de cumplimiento de límites permisibles, los
5134 tiempos de muestreo deberán ser los siguientes, según el tipo de límite :
 - 5135 ▪ Limite permisible ponderado: Al menos el 70% de la jornada de trabajo.
 - 5136 ▪ Limite permisible temporal: Al menos 15 minutos, durante una jornada, en la etapa
5137 más crítica del proceso.
 - 5138 ▪ Limite permisible absoluto: Idealmente una medición instantánea, en periodo de
5139 mayor contaminación.

5140 Cuando se planifique tomar más de una muestra en un periodo de evaluación, el número total de
5141 estas muestras parciales estará determinado por el volumen mínimo de muestreo que exige la
5142 técnica analítica.

- 5143 - Utilizar métodos de muestreo de acuerdo a protocolos oficiales.
- 5144 - Trazabilidad de la información: para cada muestra se deberá registrar como mínimo la
5145 identificación de ella, nombre del trabajador(a) especificando las actividades o tareas que
5146 realizará o del área o tarea a evaluar, fecha de muestreo, turno evaluado, hora de inicio y
5147 término del muestreo, ciclo de turnos si corresponde, altura geográfica del lugar de trabajo.
5148 Considerar el registro de la temperatura y humedad relativa, así como también la dirección
5149 y velocidad del aire.
- 5150 - Competencia técnica de la(s) persona(s) a cargo de realizar el procedimiento de
5151 evaluación.
- 5152 - Los trabajadores(as) a evaluar son parte importante para lograr una muestra
5153 representativa, ya que son ellos quienes informan de las tareas efectivas que desarrollaron
5154 en su jornada, así como de situaciones no habituales ocurridas durante la jornada laboral.
5155 Por lo tanto, deberán ser informados sobre el objetivo del muestreo el agente a evaluar, el
5156 funcionamiento del tren de muestreo, los cuidados que se deben tener para evitar que se
5157 detenga y las situaciones que deberá comunicar a la persona a cargo del muestreo.

5158 La Norma UNE-EN 689:2019 señala que, ante la imposibilidad práctica, técnica y económica, es
5159 imposible medir la exposición de cada uno de los trabajadores(as) todos los días de trabajo para
5160 demostrar la conformidad con el valor límite permisible. Por lo tanto, en la norma se propone un

5161 procedimiento que permite evaluar la exposición de los(as) trabajadores(as) o GES a partir de un
5162 número reducido de mediciones.

5163 El procedimiento comprende dos etapas, una prueba preliminar, en la que es necesario contar con
5164 un mínimo de tres y hasta cinco mediciones, y una segunda prueba, que corresponde al test
5165 estadístico, que solo se aplica en el caso de no poder concluir la conformidad de los resultados en
5166 la prueba preliminar. Para la aplicación del test estadístico será necesario contar con un mínimo de
5167 6 mediciones. Dada la complejidad de este tema, en una próxima nota técnica se abordarán en
5168 profundidad los criterios para determinar la conformidad con los valores límites permisibles en
5169 función de la prueba preliminar y la prueba estadística descritas en la Norma UNE-EN 689:2019.

5170

5171 **13.5. INFORME TÉCNICO.**

5172 El responsable de realizar las mediciones de la exposición es la persona que debe estar a cargo de
5173 redactar el informe técnico sobre la evaluación de la exposición laboral y sobre cualquier medición
5174 periódica. De acuerdo a lo señalado en la norma UNE-EN 689:2019, el informe técnico debe
5175 contener, al menos, la siguiente información:

- 5176 - Nombre del higienista o evaluador y entidades que se encargan de la evaluación y de las
5177 mediciones;
- 5178 - Objetivo de la evaluación;
- 5179 - Nombre de los agentes químicos considerados;
- 5180 - Nombre y dirección de las instalaciones;
- 5181 - Descripción de los factores de exposición del lugar de trabajo y de las condiciones de
5182 trabajo;
- 5183 - Observaciones realizadas durante el muestreo;
- 5184 - Resultados y conclusiones de la caracterización básica;
- 5185 - Procedimiento de medición, equipos utilizados y conformidad con los requisitos señalados
5186 en los protocolos de toma de muestra de agentes químicos;
- 5187 - Tiempo de muestreo (fecha, comienzo y final);
- 5188 - Altura geográfica;
- 5189 - Jornada laboral (horas semanales) y turno de trabajo;
- 5190 - Condiciones ambientales (temperatura, humedad y velocidad del viento);
- 5191 - Concentración de la exposición;
- 5192 - Detalles del aseguramiento de la calidad (por ejemplo: incertidumbre expandida del
5193 volumen de muestreo);
- 5194 - Identificación clara de los resultados;
- 5195 - Resultado de la comparación con el Limite Permisible (LPP, LPT, LPA), corregidos por factor
5196 de jornada y/o altura si corresponde.

5197

5198 **13.6 COMENTARIOS**

5199 En el desarrollo de este capítulo podemos apreciar que la evaluación de riesgos derivados de la
5200 exposición por inhalación a un agente químico no es una tarea sencilla, más bien, es una tarea
5201 bastante compleja, puesto que para obtener mediciones válidas y representativas de la exposición
5202 además de requerir especialistas con experiencia y formación en higiene ocupacional, es necesario

5203 considerar todas las posibles condiciones que razonablemente se puede esperar que estén
5204 presentes a lo largo de la jornada laboral.

5205 El procedimiento para la evaluación de la exposición requiere de diversas etapas que el higienista
5206 debe contemplar, como son: la caracterización básica, la estrategia de muestreo, la realización de
5207 las mediciones de la exposición, la validación de los resultados y grupos de exposición similar (GES),
5208 la comparación de los resultados con los límites permisibles, el tratamiento estadístico de los datos
5209 y finalmente la elaboración del informe técnico. Considerar cada una de las etapas abordadas en
5210 esta nota técnica permitirá considerar aspectos relevantes en el proceso de toma de muestra con
5211 el propósito de obtener resultados representativos y confiables de la exposición de los
5212 trabajadores(as).

5213

5214 **13.7 BIBLIOGRAFÍA CAPITULO 13**

5215 - Norma UNE – EN 689:2019. Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la Exposición por
5216 inhalación de Agentes Químicos. Estrategia para Verificar la Conformidad con los Valores
5217 Límite de Exposición Profesional.

5218 - Norma UNE – EN 482: 2021. Exposición en el Lugar de Trabajo. Procedimiento para la
5219 Determinación de la Concentración de los Agentes Químicos. Requisitos Generales Relativos
5220 al Funcionamiento.

5221 - Norma UNE-EN 1540:2012. Exposición en el lugar de trabajo. Terminología

5222 - Manual Básico sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud
5223 Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile, tercera edición, año 2013.

5224 - Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. National Institute for Occupational
5225 Safety and Health. NIOSH, año 1977

5226



5227

CAPITULO XIV

5228

Agentes Químicos: Criterios básicos para la aplicación de medidas de control a través de la evaluación cualitativa simplificada por exposición inhalatoria.

5229

5230

Metodología Control Banding

5231

5232

14.1. Introducción

5233

La manipulación o contacto con sustancias químicas en los lugares de trabajo es muy frecuente, principalmente en procesos productivos que requieren el uso de algún tipo de sustancia química ya sea como materia prima, cuyo objetivo es elaborar un producto o como un insumo para la realización de actividades propias del trabajo.

5234

5235

5236

5237

La gran cantidad de sustancias químicas potencialmente presentes en los lugares de trabajo, la escasez de criterios de evaluación de riesgos y las dificultades técnicas y económicas que demanda una medición cuantitativa del ambiente de trabajo, hacen que este tipo de evaluaciones sean técnicamente complejas y en muchos casos muy difíciles de realizar principalmente en la micro y pequeña empresa. En los lugares de trabajo existen numerosos factores que influyen en el nivel de exposición, destacando aspectos como las características del agente químico (toxicología, propiedades físicas, presión de vapor, densidad, entre otras); características del lugar de trabajo y condiciones de manipulación (tipo de proceso productivo, tipo de maquinarias y herramientas, cantidad utilizada, temperatura y presión de operación, etc), condiciones que llevan a múltiples escenarios de exposición que requieren de una evaluación detallada para cada una de las posibles situaciones de riesgo. En la práctica las formas de disminuir o controlar el riesgo componen un número limitado de soluciones ingenieriles y administrativas, es decir, las situaciones de exposición son variadas, sin embargo, las formas de controlar el riesgo son pocas y específicas⁵². Los modelos de *control banding* (agrupación de bandas de control) consideran este antecedente y agrupan las situaciones de exposición en bandas homogéneas que requieren determinadas medidas de control en función del nivel de riesgo.

5238

5239

5240

5241

5242

5243

5244

5245

5246

5247

5248

5249

5250

5251

5252

5253

En el Reino Unido la normativa legal para la prevención del riesgo por exposición a agentes químicos se denomina COSHH (Control of Substances Hazardous to Health). La metodología que se expone a continuación corresponde al modelo simplificado denominado COSHH Essentials y su objetivo es prestar apoyo a pequeños y medianos empresarios y especialistas en prevención de riesgo, proporcionando recomendaciones sobre la medida de control adecuada durante la exposición a agentes químicos.

5254

5255

5256

5257

5258

5259

5260

14.2 Modelo COSHH Essentials y sus Etapas

5261

a. Peligro para la salud según frases R o H

5262

b. Volatilidad o Pulverulencia

5263

c. Cantidad de sustancia utilizada

5264

d. Enlace etapa 1 con etapa 3, para formar el esquema genérico de evaluación de riesgos

5265

⁵² Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España. Nota Técnica de Prevención NTP: 872 – 2010.

5266



5267 **Figura 14-1 Etapas utilizadas en la evaluación de riesgo para identificar medidas de control adecuadas**

5268

5269 Nota. Esta evaluación genérica de riesgos se aplica únicamente a líquidos y sólidos. No se aplica a
5270 gases o líquidos utilizados por encima de su punto de ebullición.

5271

5272 **a. Etapa 1: Peligrosidad según frases H o R**

5273 La peligrosidad de las sustancias, se clasifica en cinco grupos de peligro, A a E en función de las frases
5274 R o H que deben figurar en la etiqueta del producto o en la respectiva ficha de seguridad. En el caso
5275 de encontrar frases R o H con distintos niveles de peligrosidad, se deberá tomar la que represente
5276 el mayor peligro.

5277 Los grupos de peligro A, B, C y D cubren un rango de concentración logarítmica para polvos y
5278 vapores. El límite superior del grupo de peligro A representa concentraciones que no deben
5279 superarse regularmente, si se han implementado de forma correcta las medidas de control: 500
5280 partes por millón (ppm) para vapores y 10 mg/m³ (miligramos por metro cúbico) para polvos

5281

5282

5283

Tabla 14-1. Asignación de frases R y H, en función del grupo de peligro y rango de concentración.

Grupo de peligro	Tipo	Rango de concentración	Unidad	Unidad Frases R	Frases H (GHS)
A	Polvo	>1 a 10	mg/m ³	R36, R38 y todas las frases R no enumeradas	H303, H304, H305, H313, H315, H316, H318, H319, H320, H333,
	Vapor	>50 a 500	ppm		H336 y todas las frases H no enumeradas
B	Polvo	>0,1 a 1	mg/m ³	R20/21/22 and R68/20/21/22	H302, H312, H332, H371
	Vapor	>5 a 50	ppm		
C	Polvo	>0,001 a 0,1	mg/m ³	R23/24/25, R34, R35, R37, R39/23/24/25, R41, R43, R48/20/21/22, R68/23/24/25	H301, H311, H314, H317, H318, H331, H335, H370, H373
	Vapor	>0,5 a 5	ppm		
D	Polvo	<0,01	mg/m ³	R26/27/28, R39/26/27/28, R40, R48/23/24/25, R60, R61, R62, R63, R64	H300, H310, H330, H351, H360, H361, H362, H372
	Vapor	<0,5	ppm		
E	Polvo	-	mg/m ³	R42, R45, R46, R49, R68	H334, H340, H341, H350
	Vapor	-	ppm		

5284

Nota Ante la existencia de frases R o H que llevaran a distinto nivel de peligrosidad, se tomara el mayor de ellos.

5285

5286

b. Etapa 2. Propiedades físicas (tendencia a pasar al ambiente)

5287

La tendencia a pasar al ambiente se clasifica en alta, media y baja y se mide en el caso de los líquidos, por su volatilidad y la temperatura de trabajo (figura 14-2), variables que determinan la capacidad de evaporación del agente, y en el caso de los sólidos, por su tendencia a formar polvo (tabla 2). El modelo COSHH Essentials, excluye los agentes en estado gaseoso y los líquidos manipulados por encima de su punto de ebullición

5288

5289

5290

5291

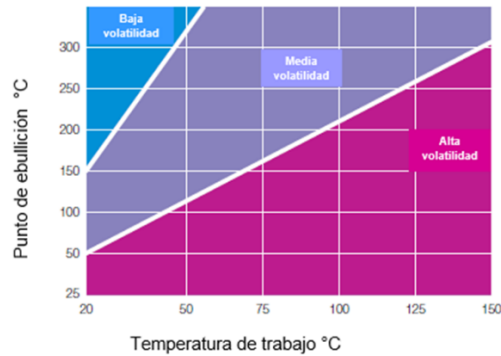


Figura 14-2. Niveles de volatilidad de los líquidos

5292

5293

5294 Las disoluciones acuosas de sólidos se tratan como líquidos de baja volatilidad, aunque el punto de
5295 ebullición del agua conduce normalmente a la zona de volatilidad media. Para las disoluciones de
5296 sólidos en otros disolventes, como norma general se toma la volatilidad del disolvente.

5297

5298

Tabla 14-2 Tendencia de los sólidos a formar polvo

Baja	Media	Alta
Sólidos en forma de pellets que no tiene tendencia a romperse. Por ejemplo: Granzas o Pellets de PVC.	Sólidos granulares o cristalinos. Si bien se produce polvo durante su manipulación, este sedimenta rápidamente, pudiéndose observar en las superficies colindantes. Por ejemplo: polvo de detergente	Polvos finos y de baja densidad. Durante su manipulación se puede generar nubes de polvo que permanecen en suspensión varios minutos. Por ejemplo: polvo de cemento, polvo de harina, cal.

5299

c. Etapa 3. Cantidad de sustancia utilizada

5301 La cantidad de sustancia empleada se clasifica cualitativamente en pequeña, mediana o grande, de
5302 acuerdo a lo indicado en la tabla 14-3.

5303

Tabla 14-3 Cantidad de Sustancia utilizada

Cantidad de sustancia	Cantidad empleada por operación
Pequeña	Gramos o mililitros
Mediana	Kilogramos o Litros
Grande	Toneladas o metros cúbicos

5304

5305 Con la información obtenida en las tres etapas descritas en los puntos anteriores (peligrosidad,
5306 propiedades físicas y cantidad de sustancia utilizada), se debe seleccionar en la tabla 14-4 el nivel
5307 de riesgo (NR)

5308

Tabla 14-4. Estimación del nivel de riesgo en función de la cantidad de sustancia utilizada

Baja Pulverulencia	Media Pulverulencia	Alta pulverulencia	Nivel de riesgo
Gramos	Gramos	-	NR 1 Sólido

5309

Kilogramos y Toneladas	-	Gramos	NR 2 Solido
-	Kilogramos	Kilogramos	NR 3 Solido
-	Toneladas	Toneladas	NR 4 Solido
Baja volatilidad	Media volatilidad	Alta volatilidad	Nivel de riesgo
Millilitros	-		NR 1 Líquido
Litros y metros cúbicos	Millilitros	Millilitros	NR 2 Líquido
-	Litros y metros cúbicos	Litros	NR 3 Líquido
-	-	Metros cúbicos	NR 4 Líquido

5310

5311

Importante. La tabla 14-5 asocia estas bandas de exposición con las medidas de control

5312

Nota. Las sustancias clasificadas en el nivel de riesgo 4 son aquellas en las que, o se utilizan sustancias extremadamente tóxicas o bien se emplean sustancias de toxicidad moderada en grandes cantidades y estas pueden ser fácilmente liberadas a la atmósfera (INSHT, NTP 750)

5313

5314

5315

5316

d. Etapa 4: Medidas de Control

5317

Una vez que se ha categorizado el nivel de riesgo el modelo COSHH Essentials especifica cuatro medidas de control que se ajustan en función del nivel del mismo, siguiendo las pautas señaladas en la tabla 14-5.

5318

5319

5320

Tabla 14-5: Medidas de Control

Nivel de Riesgo	Tipo de Medida	Eficacia Relativa	Medidas de control
1	Ventilación General	1	
2	Control de Ingeniería	Reducción de 10 veces	Extracción localizada (y gradualmente otras medidas hasta encerramiento parcial).
3	Encerramiento	Reducción de 100 veces	Encerramiento del proceso
4	Especial	--	Se requiere el asesoramiento de un experto

5321

5322

Un subgrupo del comité asesor de sustancias tóxicas (ACTS por sus siglas en inglés) del HSE (Health and Safety Executive) desarrolló el esquema de evaluación de riesgos, aplicando un criterio profesional para determinar cada banda predictora del Nivel de Riesgo 1 a 4 (sólida o líquida) especificadas en la tabla 14-4 y las medidas de control especificadas en la tabla 14-5.

5323

5324

5325

5326

En la tabla 6 se presentan los resultados del pronunciamiento del comité asesor de sustancias químicas en relación a las bandas predictoras del nivel de riesgo y las respectivas medidas de control en función de la concentración.

5327

5328

5329

5330

Tabla 14-6: Relación entre las bandas predictoras de la exposición y las medidas de control

Exposiciones pronosticadas para polvo en aire, miligramos por metro cubico (mg/m ³)			
Nivel de Riesgo NR	Medida de control 1 mg/m ³	Medida de control 2 mg/m ³	Medida de control 3 mg/m ³
NR 1 Solido	0,01 a 0,1	0,001 a 0,01	<0,001

5331	NR 2 Sólido	0,1 a 1	0,01 a 0,1	0,001 a 0,01
	NR 3 Sólido	1 a 10	0,1 a 1	0,01 a 0,1
	NR 4 Sólido	>10	1 a 10	0,1 a 1

Exposiciones pronosticadas para vapor en aire, partes por millón (ppm)

Nivel de Riesgo NR	Medida de control 1 ppm	Medida de control 2 ppm	Medida de control 3 ppm
NR 1 Líquido	<5	<0,5	<0,05
NR 2 Líquido	5 a 50	0,5 a 5	0,05 a 0,5
NR 3 Líquido	50 a 500	5 a 50	0,5 a 5
NR 4 Líquido	>500	5 a 500	5 a 50

5332

5333 El paso final para completar el esquema de evaluación de riesgos es relacionar el rango de
 5334 exposición en el aire para cada grupo de peligro (tabla 14-1) con el respectivo nivel de riesgo (tabla
 5335 14-6) para determinar la medida de control. La relación para cada sustancia polvo en aire y vapor
 5336 en aire se presentan en la tabla 14-7 y tabla 14-8, respectivamente.

5337

Tabla 14-7: Niveles de Riesgos estimados para Polvo en Aire (mg/m³)

Nivel de Riesgo/ Grupo de Peligro	Medida de Control 1	Medida de Control 2	Medida de Control 3	Medida de Control 4
NR 1 Sólido Grupos de Peligro	0,01 a 0,1 A, B, C	0,001 a 0,01 D	<0,001	---
NR 2 Sólido Grupos de Peligro	0,1 a 1 A, B	0,01 a 0,1 C	0,001 a 0,01 D	---
NR 3 Sólido Grupos de Peligro	1 a 10 A	0,1 a 1 B	0,01 a 0,1 C	D
NR 4 Sólido Grupos de Peligro	>10 ---	1 a 10 A	0,1 a 1 B	C, D

5338

5339

Tabla 14-8: Niveles de Riesgos estimados para Vapor en Aire (ppm)

Nivel de Riesgo/ Grupo de Peligro	Medida de Control 1	Medida de Control 2	Medida de Control 3	Medida de Control 4
NR 1 Líquido Grupos de Peligro	<5 A, B, C	<0,5 D	<0,05 --	---
NR 2 Líquido Grupos de Peligro	5 a 50 A, B	0,5 a 5 C	0,05 a 0,5 D	---
NR 3 Líquido Grupos de Peligro	50 a 500 A	5 a 50 B	0,5 a 5 C	D
NR 4 Líquido Grupos de Peligro	>500 --	50 a 500 A	5 a 50 B	C, D

5340

5341 **Ejemplo de Aplicación:**

5342 Un sólido en el grupo de peligro B - **Grupo de peligro B** según tabla 14-1 el rango de concentración
 5343 objetivo = 0,1 a 1 mg/m³ de polvo.

5344

Cantidad en gramos

5345

- NR1, Sólido: baja/media pulverulencia (tabla 14-4): 0,01 a 0,1 mg/m³ con ventilación general (tabla 14-5, 14-6 y 14-7).

5346

Por debajo del rango de 0,1 a 1 mg/m³: la medida de control MC1 es adecuada.

5347

5348

5349 - NR2, Solido: alta pulverulencia (tabla 4): 0,1 a 1 mg/m³ con ventilación general (tabla
5350 14-5, 14-6 y 14-7)

5351 *Dentro del rango de 0,1 a 1 mg/m³: la medida de control MC1 es adecuada.*

5352 **Cantidad en kilogramos**

5353 - NR3, media pulverulencia (tabla 14-4): 1 a 10 mg/m³ con ventilación general (tabla 14-
5354 5, 14-6 y 14-7)

5355 *Fuera del rango de 0,1 a 1 mg/m³: la medida de control MC1 no es adecuada.*

5356 - *Aplicando la medida de control MC2: 0,1 a 1 mg/m³, se encuentra dentro del rango de*
5357 *concentración objetivo. La medida de control MC2 es adecuada (sistema de extracción*
5358 *localizada, ver tabla 3).*

5359 **Cantidad en toneladas**

5360 - NR4, media pulverulencia (tabla 4): >10 mg/m³ con ventilación general (tabla 14-5, 14-
5361 6 y 14-7).

5362 *Fuera del rango de 0,1 a 1 mg/m³: la medida de control MC1 no es adecuada (>10*
5363 *mg/m³).*

5364 *Fuera del rango de 0,1 a 1 mg/m³: la medida de control MC2 no es adecuada (1 a 10*
5365 *mg/m³).*

5366 - *Aplicando la medida de control MC3: 0,1 a 1 mg/m³, se encuentra dentro del rango de*
5367 *concentración objetivo MC3 es adecuada (encerramiento, ver tabla 14-3).*
5368

5369 La tabla 14-9 reorganiza la información de la tabla 14-7 y 14-8 para relacionar el grupo de peligro
5370 directamente con la medida de control.

5371 **Tabla 9: Medidas de control (MC) necesarias para cada grupo de peligro**

Grupo de peligro	Nivel de Riesgo Estimado			
	NR1	NR2	NR3	NR4
A Solido	MC1	MC1	MC1	MC2
A Liquido	MC1	MC1	MC1*	MC2
B Solido	MC1	MC1	MC2	MC3
B Liquido	MC1	MC1	MC2	MC2
C Solido	MC1	MC2	MC3	MC4
C Liquido	MC1	MC2	MC3	MC3
D Solido	MC2	MC3	MC4	MC4
D Liquido	MC2	MC3	MC4	MC4
E Solido	MC4	MC4	MC4	MC4
E Liquido	MC4	MC4	MC4	MC4

5372

5373 Nota. *MC1 para NR3, grupo de peligro A, líquido. Las pruebas de validación posterior encontraron
5374 que el uso a gran escala de un líquido con volatilidad media requiere una medida de control MC2.

5375

5376 14.2.1 Tratamiento de las mezclas

5377 Cuando el agente evaluado es una mezcla o preparado la ficha de datos de seguridad debería incluir
5378 su clasificación final y la clasificación y porcentaje de contenidos de cada uno de los componentes
5379 que forman la sustancia. En este caso es importante conocer la peligrosidad de cada componente
5380 de la mezcla y evaluarlas de forma separada de acuerdo a los siguientes parámetros:

- 5381 ■ Si existe al menos un componente en el grupo de peligro E, la mezcla se clasifica como E.
- 5382 ■ Si existe al menos un componente en el grupo de peligro D > 0,05% la mezcla se clasificará como
5383 D.
- 5384 ■ Si existe al menos un componente en el grupo de peligro C > 0,5% la mezcla se clasifica como C.
- 5385 ■ Si existe al menos un componente en el grupo de peligro B >10% la mezcla se clasifica como B.
- 5386 ■ Si existe al menos un componente (a una concentración entre 0,1 y 0,5%) con las frases R43 o
5387 H317 (sensibilización dérmica) se debe aplicar la tabla 10.

5388

5389 **Tabla 14-10. Nivel de riesgo estimado (potencial) de una mezcla o preparado cuando contiene al menos un**
5390 **componente etiquetado R B43 o H317 a una concentración entre 0,1 y 0,5%**

Cantidad	Volatilidad o Pulverulencia			
	Baja volatilidad o pulverulencia	Volatilidad media	Pulverulencia media	Alta volatilidad o pulverulencia
Pequeña	1	2	1	2
Media	1	2	2	2
Grande	2	3	3	3

5391 Obs. Estas modificaciones afectan al nivel de riesgo estimado final (1 a 4), no la clasificación del grupo de
5392 peligro de la mezcla o preparado.

5393

5394 14.3 Bibliografía

- 5395 - COSHH Essentials: Easy Steps to Control Chemicals. Health and Safety Executive 2003.
- 5396 - NTP: 750: Evaluación del riesgo por exposición inhalatoria de agentes químicos. Metodología
5397 simplificada. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de España.
- 5398 - NTP: 872: Agentes Químicos: Aplicación de Medidas Preventivas al Efectuar la Evaluación
5399 Simplificada por Exposición Inhalatoria. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
5400 de España.

5401



5402 **CAPITULO XV.**

5403 **DETERMINACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE ASOCIADA AL VOLUMEN DE**
5404 **MUESTREO**

5405

5406

5407 **15.1 Fundamento y propósito de la estimación**

5408 La incertidumbre de medida es un parámetro clave en la evaluación de la calidad de un resultado
5409 analítico y su estimación es fundamental para garantizar la validez de los resultados en higiene
5410 ocupacional. Se entiende como la dispersión de los valores que podrían atribuirse razonablemente
5411 a una magnitud medida (mensurando), entregando un intervalo dentro del cual se espera encontrar
5412 el valor real.

5413 En el contexto de la toma de muestras de agentes químicos, el conocimiento de la incertidumbre
5414 asociada al volumen de aire muestreado permite interpretar correctamente los resultados y tomar
5415 decisiones informadas respecto al cumplimiento de los límites permisibles establecidos en el D.S. N°
5416 594. Una medición sin su correspondiente estimación de incertidumbre podría dar lugar a errores
5417 de interpretación, generando consecuencias negativas en la protección de la salud de las personas
5418 trabajadoras.

5419 Este capítulo entrega los criterios técnicos para estimar la incertidumbre del volumen de muestreo,
5420 abordando las fuentes principales de variabilidad, así como los métodos para su cuantificación.

5421

5422 **15.2 Definiciones esenciales**

5423 A continuación, se presentan algunos conceptos clave para la comprensión y aplicación del
5424 procedimiento:

- 5425 a. **Mensurando:** magnitud que se desea medir.
- 5426 b. **Incertidumbre típica (u):** expresada como desviación estándar, refleja la variabilidad de una
5427 medición.
- 5428 c. **Incertidumbre típica combinada (uc):** resultado de la suma cuadrada de múltiples componentes
5429 de incertidumbre.
- 5430 d. **Incertidumbre expandida (U):** intervalo calculado a partir de la incertidumbre combinada
5431 multiplicada por un factor de cobertura (k), que generalmente se toma como 2 (95 % de
5432 confianza).
- 5433 e. **Deriva instrumental:** variación continua de la indicación de un instrumento con el tiempo.
- 5434 f. **Resolución:** menor variación detectable por el instrumento de medición.
- 5435 g. **Fuentes de incertidumbre.** La incertidumbre total del volumen de muestreo se obtiene a partir
5436 de la combinación de las siguientes fuentes:
- 5437 i. Lectura de caudal
- 5438 - Variabilidad entre mediciones durante la calibración (curvas o lecturas parciales).
- 5439 - Coeficiente de variación (CV) aplicado a varias mediciones.
- 5440 ii. Medidor de caudal (calibrador)
- 5441 - Incertidumbre del certificado de calibración
- 5442 - Deriva del instrumento

- 5443 - Resolución declarada por el fabricante
5444 iii. Estabilidad del caudal
5445 - Evaluada mediante ensayos de pérdida de carga.
5446 iv. Tiempo de muestreo
5447 - Resolución del medidor de tiempo (cronómetro integrado)
5448 - Exactitud del cronómetro frente a patrón nacional

5449

5450 **15.3 Procedimiento para el cálculo de la incertidumbre**

5451 La estimación de la incertidumbre del volumen de muestreo se basa en la identificación y
5452 cuantificación de cada una de las fuentes mencionadas anteriormente. El cálculo se organiza en dos
5453 etapas principales:

5454

5455 15.3.1 Cálculo de la incertidumbre típica combinada (u_c)

5456 Se obtiene aplicando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de cada componente
5457 individual de incertidumbre, todos expresados en porcentaje.

5458

$$5459 \quad u_c = \sqrt{u_{\text{lectura}}^2 + u_{\text{medidor}}^2 + u_{\text{estabilidad}}^2 + u_{\text{tiempo}}^2}$$

5460

Donde:

- 5461 - u_{lectura} : Incertidumbre asociada a la lectura de caudal
5462 - $u_{\text{calibrador}}$: Incertidumbre combinada del calibrador (calibración, deriva, resolución)
5463 - $u_{\text{estabilidad}}$: Incertidumbre asociada a la estabilidad del caudal
5464 - u_{tiempo} : Incertidumbre combinada del tiempo de muestreo

5465

5466 **15.3.1 Cálculo de la incertidumbre expandida (U)**

5467 Una vez obtenida la incertidumbre típica combinada, se multiplica por un **factor de**
5468 **cobertura k**, habitualmente igual a 2, lo que representa un nivel de confianza del 95 %.

5469

$$5470 \quad U = K \times u_c$$

5471

$K=2$ para el 95% de nivel de confianza

5472

5473 Resultados: los resultados asociados a la determinación del cálculo de incertidumbre se
5474 expresan en Volumen de muestreo $\pm U$

5475

Ejemplo aplicado

5476

A continuación, se presenta un ejemplo simplificado del cálculo de incertidumbre para una
5477 bomba de muestreo:

- 5478 - Caudal promedio: **2000 cc/min**
- 5479 - Tiempo de muestreo: **540 min**
- 5480 - Coeficiente de variación: **0,15 %**
- 5481 - n (número de lecturas en la calibración): **10**
- 5482 - Incertidumbre del calibrador: **0,015 %**
- 5483 - Deriva: **0,577 %**
- 5484 - Resolución del calibrador: **0,001 %**
- 5485 - Estabilidad del caudal: **1,13 %**
- 5486 - Incertidumbre del tiempo (combinada): **0,27 %**
- 5487

5488 **Cálculo de componentes:**

- 5489 a) Incertidumbre asociada a la lectura de caudal.
- 5490 = $(0,15 / \sqrt{10}) = 0,05\%$
- 5491 b) Incertidumbre del calibrador o medidor de caudal
- 5492 = $\sqrt{(0,015^2 + 0,577^2 + 0,001^2)} = 0,58\%$
- 5493 c) Incertidumbre asociada a la estabilidad del caudal durante la toma de muestra.
- 5494 = $1,96 / \sqrt{3} = 1,13\%$
- 5495 d) Incertidumbre asociada al tiempo de muestreo.
- 5496 = $\sqrt{(0,05^2 + 0,26^2)} = 0,27\%$

5497

5498 **Incertidumbre típica combinada (u_c):**

5499
$$u_c = \sqrt{0,05^2 + 0,58^2 + 1,13^2 + 0,27^2} = 1,29\%$$

5500

5501 **Incertidumbre expandida: $U = K \times u$**

5502 $K = 2$ para el 95% de nivel de confianza

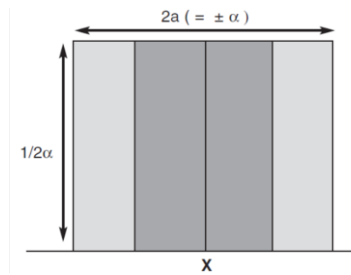
5503
$$U_{\text{volumen}} = \pm 2,58\%$$

5504

5505 **15.3.2 Distribuciones de probabilidad en la estimación de la incertidumbre**

5506 En la determinación de la incertidumbre de medición es indispensable definir la distribución de
5507 probabilidad para cada componente. Esto permite representar de forma realista la variabilidad de
5508 cada magnitud e identificar el factor divisor adecuado para convertir la tolerancia o rango en una
5509 desviación estándar.

5510 **Distribución rectangular (uniforme):** Se aplica cuando no se cuenta con información
5511 suficiente para suponer una mayor probabilidad hacia un extremo u otro del rango. Es la
5512 más conservadora y se usa, por ejemplo, para tolerancias de fabricante sin mayor respaldo
5513 experimental.



5514

5515

- **Ejemplo:** resolución de instrumentos, tolerancia de deriva.

5516

- **Factor divisor:** $\sqrt{3}$.

5517

5518

Distribución normal (gausiana): Se utiliza cuando los valores se distribuyen alrededor de una media conocida y la variabilidad se ha determinado mediante repetición de mediciones o certificados de calibración.

5519

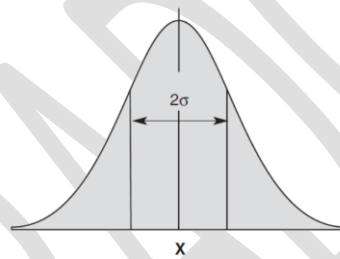
5520

5521

- **Ejemplo:** incertidumbre indicada en certificados, repetición de ensayos.

5522

- **Factor divisor:** según cobertura (k).



5523

5524

Distribución triangular: Se emplea cuando se estima que los valores intermedios son más probables que los extremos, pero no se dispone de datos suficientes para ajustar una distribución normal.

5525

5526

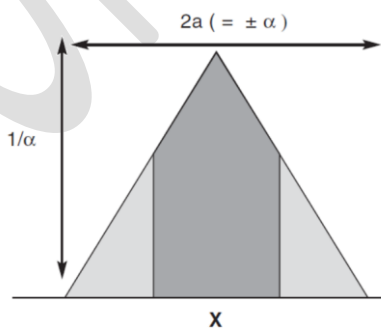
5527

- **Ejemplo:** estimaciones basadas en juicio técnico cuando se tiene un valor central preferente.

5528

5529

- **Factor divisor:** $\sqrt{6}$.



5530

5531

5532

15.3.3 Ensayos realizados en este proceso

5533 El proceso de estimación de la incertidumbre del volumen de muestreo considera tres ensayos
 5534 principales, diseñados para verificar y cuantificar cada una de las fuentes de incertidumbre
 5535 involucradas: curvas de calibración, estabilidad del caudal con pérdida de carga y verificación de la
 5536 exactitud del cronómetro. Estos ensayos se complementan entre sí para asegurar que los resultados
 5537 sean trazables, confiables y representativos de las condiciones reales de trabajo.

5538

5539

Tabla 15-1. Ensayos asociados a la estimación de la incertidumbre

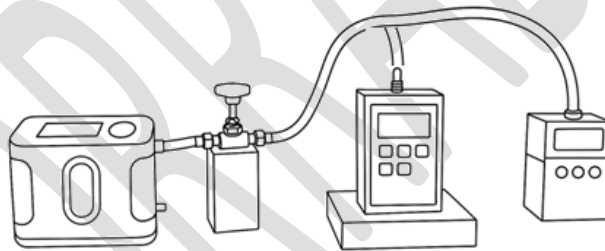
Ensayo	Descripción	Objetivo principal
Curvas de calibración	Registro periódico del caudal de la bomba de muestreo durante varias horas para calcular promedio, desviación estándar, varianza y CV.	Determinar la variabilidad real de la lectura de caudal.
Estabilidad del caudal con pérdida de carga	Incremento controlado de la resistencia mediante resistores de flujo y medición del caudal resultante con manómetro diferencial.	Verificar que el caudal se mantenga dentro de la tolerancia nominal bajo diferentes condiciones de carga.
Verificación de la exactitud del cronómetro	Comparación del cronómetro integrado de la bomba con un cronómetro patrón o la hora oficial.	Evaluar la precisión del tiempo de muestreo registrado.

5540

5541

5542

Figura 15-1: Ensayo de pérdida de carga



5543

5544

5545 **15.4 Consideraciones finales**

5546 La estimación de la incertidumbre asociada al volumen de muestreo es un proceso esencial para
 5547 garantizar la calidad y trazabilidad de los resultados obtenidos durante la evaluación de la exposición
 5548 a agentes químicos en el ambiente laboral. Este procedimiento permite:

5549

5550

- **Evaluar la confiabilidad de los datos**, entregando un rango en el cual se espera encontrar el valor verdadero.

5551

5552

- **Respaldar decisiones técnicas y regulatorias**, especialmente cuando los resultados se comparan con límites permisibles establecidos en normativa nacional.



5553 - **Aumentar la transparencia del proceso de medición**, fortaleciendo la confianza entre las
5554 instituciones fiscalizadoras, los trabajadores y los empleadores.

5555

5556 Se recomienda que la incertidumbre sea calculada regularmente, utilizando datos actualizados y
5557 reales de cada campaña de medición, considerando los equipos específicos utilizados y sus
5558 condiciones operacionales. Asimismo, es fundamental mantener actualizados los certificados de
5559 calibración y realizar los ensayos complementarios requeridos, como curvas de calibración y
5560 ensayos de estabilidad.

5561 Finalmente, se debe tener presente que la estimación de la incertidumbre **no tiene como finalidad**
5562 **invalidar mediciones**, sino contextualizar su precisión y permitir decisiones más responsables y
5563 ajustadas a la realidad técnica del muestreo.

5564

BORRADOR

5565 **CAPITULO XVI**

5566 **MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE BIOAEROSOLES**

5567

5568

5569 **16.1 INTRODUCCIÓN.**

5570 Algunos entornos de trabajo, en condiciones específicas, pueden proporcionar un espacio idóneo
5571 para la exposición a peligros biológicos que ponen en riesgo a una parte considerable de la población
5572 activa. Se está identificando un espectro cada vez mayor de ocupaciones expuestas a peligros
5573 biológicos y el número de víctimas del SARS-Cov-2 ha destacado un interfaz comunidad-lugar de
5574 trabajo como un riesgo importante de diseminación de peligros biológicos contagiosos y no
5575 contagiosos⁵³. Estos peligros biológicos, pueden ser una considerable amenaza para la salud en
5576 numerosos sectores y lugares de trabajo en todo el mundo, y pueden causar enfermedades
5577 profesionales y relacionadas con el trabajo⁵⁴.

5578 Se entiende por peligro biológico se entiende todo microorganismo, célula u otro material orgánico
5579 que puede ser de origen vegetal, animal o humano, con inclusión de los genéticamente modificados,
5580 y que pueda ser perjudicial para la salud humana.

5581 Esto puede incluir, entre otros, bacterias, virus, parásitos, hongos, priones, materiales de ADN,
5582 fluidos corporales, y cualquier otro microorganismo y sus toxinas y alérgenos asociados. El impacto
5583 en la salud podría comprender enfermedades infecciosas y no infecciosas y lesiones.

5584 También puede considerarse que los peligros biológicos en el entorno de trabajo incluyen vectores
5585 biológicos o transmisores de enfermedades

5586 Por lo tanto, agente biológico es todo aquel organismo con capacidad de autor replicación mediante
5587 transferencia genética, caracterización que incluye un grupo particular, cuyo ciclo de vida y contacto
5588 con el mismo, representa el riesgo de contraer y/o desarrollar una enfermedad de tipo infeccioso o
5589 parasitario, que desde el punto de vista de la Salud Ocupacional está representado por
5590 microorganismos, cultivos celulares y endoparásitos humanos, capaces de originar cualquier tipo de
5591 infección, alergia o toxicidad, como consecuencia de la exposición laboral no controlada.

5592 En la práctica esta definición contempla dos categorías:

- 5593 a. Agentes biológicos vivos
- 5594 b. Productos derivados de los mismos

5595 El concepto de agente biológico vivo incluye, pero no está limitado, a bacterias, hongos, rickettsias,
5596 clamidias, endoparásitos humanos, productos de recombinación, cultivos celulares humanos o de
5597 animales, así como los agentes biológicos potencialmente infecciosos que estos puedan contener
5598 (virus, priones u otros).

5599 Entre los productos derivados de los agentes biológicos y que, transmitidos fundamentalmente por
5600 vía aérea, pueden generar trastornos de tipo tóxico, alérgico o irritativo se incluyen: Micotoxinas,

⁵³ MEBH/2022/1

⁵⁴ OIT, Recomendación sobre la lista de enfermedades profesionales, 2002 (num.194)

5601 endotoxinas, exotoxinas y otros, entre los que destacan ergosteroles y glucanos, como sustancias
5602 representativas de su presencia y actividad.

5603 Riesgo biológico es aquel riesgo asociado con la exposición a agentes biológicos. Cuando la
5604 exposición a los agentes biológicos es debida a la actividad profesional, se habla de riesgos
5605 biológicos profesionales. Desde este punto de vista se distinguen dos tipos de actividades: aquéllas
5606 en las que existe intención deliberada de manipular agentes biológicos, como por ejemplo en los
5607 laboratorios de diagnóstico microbiológico, el trabajo con animales deliberadamente contaminados
5608 y las industrias en cuyos procesos se utilizan estos agentes en grandes cantidades y, las actividades
5609 en las que no existe la intención deliberada de manipular agentes biológicos, pero sí puede existir
5610 una exposición en un momento dado debido a la naturaleza del trabajo.

5611 Puede haber exposición a riesgos biológicos por:

- 5612 - Transmisión de persona a persona: Personal en centros sanitarios, personal de seguridad,
5613 protección civil, enseñanza, geriátricos, centros de acogida, penitenciarios, servicios
5614 personales, etc.
- 5615 - Transmisión de animal a persona (zoonosis): Veterinarios, ganaderos, industrias lácteas,
5616 mataderos, etc.
- 5617 - Transmisión a través de objetos o material contaminado: Personal de limpieza o sanitario,
5618 saneamiento público, agricultores, cocineros, mineros, industrias de lana, pieles y cuero,
5619 personal de laboratorio, etc.

5620

5621 **16.2 IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE RIESGOS**

5622 La información necesaria para la identificación y evaluación de riesgos debe considerar:

- 5623 a. Información sobre las enfermedades susceptibles de ser contraídas por los trabajadores como
5624 resultado de la actividad profesional; recomendaciones preventivas de las autoridades
5625 sanitarias y laborales, etc.
- 5626 b. Naturaleza de los agentes biológicos cuyos efectos hay que prevenir y efectos potenciales de
5627 estos, considerando tanto infecciones como efectos alérgicos y tóxicos. Los agentes biológicos
5628 se clasifican en cuatro grupos, siendo el grupo 1 el de menor riesgo y el grupo 4 el de mayor
5629 riesgo:
 - 5630 – Agente del Grupo 1: Aquel que resulta poco probable que cause una enfermedad en el
5631 hombre.
 - 5632 – Agente del Grupo 2: Aquél que, puede causar una enfermedad en el hombre y puede
5633 suponer un peligro para las personas trabajadoras, siendo poco probable que se
5634 propague a la comunidad, existiendo generalmente profilaxis o tratamiento eficaz.
 - 5635 – Agente del Grupo 3: Aquél que, puede causar una enfermedad grave en el hombre y
5636 presenta un serio peligro para las personas trabajadoras, con riesgo de que se propague
5637 a la comunidad, existiendo generalmente una profilaxis o tratamiento eficaz.
 - 5638 – Agente del Grupo 4: Aquél que, causando una enfermedad grave en el hombre, supone
5639 un serio peligro para las personas trabajadoras, con muchas probabilidades de que se
5640 propague a la comunidad, sin que exista una profilaxis o un tratamiento eficaz.

5641 c. Datos de casos de enfermedades infecciosas, alergias e intoxicaciones que se hayan detectado
5642 entre las personas trabajadoras.

5643

5644 d. Relación de puestos de trabajo, y en su caso las personas trabajadoras, que podrían estar
5645 expuestos y medidas preventivas que se están aplicando en estos casos, según el agente y
5646 las situaciones de exposición.

5647 e. Análisis de los procedimientos de trabajo, con especial atención a las medidas preventivas
5648 que ya se aplican y en relación a las medidas que se podrían implementar según el estado
5649 de conocimiento científico-técnico.

5650 f. Presencia de personas trabajadoras especialmente sensibles que pudieran tener un riesgo
5651 adicional en función de sus características personales o estado biológico conocido, debido
5652 a circunstancias tales como patologías previas, medicación, trastornos inmunitarios,
5653 embarazo o lactancia.

5654 Los datos obtenidos permitirán valorar el riesgo y estimar la urgencia de la actuación, y esta será la
5655 base para elaborar el correspondiente plan de prevención.

5656 Si los resultados de la evaluación preliminar ponen de manifiesto que la exposición posible se refiere
5657 únicamente a agentes del grupo 1, se deben aplicar medidas que aseguren la necesaria sanitización
5658 y/o desinfección de espacios y artículos de uso común: higiene de aseos (lavabos y retretes),
5659 vestuarios y duchas (cuando estos sean necesarios), comedores, incluyendo vajilla y neveras, etc.
5660 Sin embargo, si los resultados de la evaluación indican que hay exposición, o es posible que existan
5661 agentes biológicos de los grupos 2, 3 y/o 4 ⁽⁵⁵⁾, siempre que sea posible, se deben preferir aquellas
5662 medidas que permitan eliminar el agente.

5663 Cuando el riesgo biológico no se puede eliminar (por ejemplo, cuando se trabaja expresamente con
5664 los agentes, cuando hay una manipulación intencional, por ejemplo, en un laboratorio, o trato con
5665 pacientes en un centro sanitario, se deben estudiar los métodos de trabajo a fin de identificar todas
5666 las posibles vías de transmisión, para actuar sobre éstas con medidas adecuadas a la actividad de la
5667 que se trate. Si el riesgo puede ser calificado como grave o inminente, se debe actuar e informar de
5668 inmediato.

5669

5670 **16.3 MÉTODOS PARA EL MUESTREO DE BIOAEROSLES**

5671 Los métodos que permiten la identificación y la cantidad de agentes biológicos, están basados en la
5672 toma, recuperación y cultivo de microorganismos, métodos que se clasifican de acuerdo al
5673 procedimiento de la toma de muestra o el manejo de la muestra tomada, existiendo métodos
5674 cualitativos y cuantitativos directos para determinar su presencia y concentración en fase aérea,
5675 sólida o líquida, así como métodos cualitativos y cuantitativos indirectos, que identifican su
5676 presencia y/o actividad a través de la determinación de elementos celulares y/o metabolitos.

5677 En lo que respecta a la toma de muestras en fase aérea, las partículas de origen biológico
5678 suspendidas en el aire se conocen como bioaerosoles; partículas que pueden incluir; bacterias,
5679 hongos, esporas y fragmentos de ambos, metabolitos primarios y secundarios, virus, desechos
5680 celulares de mamíferos, polen, etc. Muchas de estas partículas poseen tamaños que las incluyen en

⁵⁵ Ver Anexo.

5681 la denominada fracción respirable, por lo que pueden ingresar al organismo a través del sistema
5682 respiratorio, por lo que cuando las personas se exponen a un ambiente con una concentración de
5683 bioaerosoles elevada, se pueden llegar a sobrepasar los mecanismos de defensa del organismo, y
5684 como consecuencia aparecen respuestas de tipo infeccioso, tóxico y/o alérgico. Los síntomas que
5685 aparecen como consecuencia de una exposición a bioaerosoles están relacionados con la
5686 contaminación microbiana, por lo que la determinación de microorganismos en el aire se utiliza
5687 generalmente como una forma de evaluar dicha exposición. Debiendo destacar que, del total de
5688 agentes biológicos con riesgo para la salud de las personas, solo una parte es transmisible por vía
5689 aérea, representando la mayor incidencia en el origen de la exposición a nivel laboral, descontando
5690 las atribuibles a la falta de medios de control profiláctico, aquellas vías de transmisión asociadas al
5691 contacto directo y/o auto inoculación.

5692

5693 **16.3.1 Métodos Cualitativos Directos.**

5694 Dentro de los métodos directos que ponen de manifiesto la presencia de agentes biológicos y su
5695 posible identificación, es posible señalar aquellos que detectan la presencia de los mismos y que se
5696 indican a continuación.

5697 **16.3.1.1 Gravitación (Impactación Natural).**

5698 Las partículas biológicas aerotransportadas son recogidas sobre una superficie adherente por su
5699 capacidad de sedimentar por gravedad. Es un método no cuantitativo debido a que la muestra se
5700 toma a partir de un volumen desconocido de aire, por lo que las pruebas de comparación son
5701 difíciles de realizar. Se utiliza en la realización de estudios iniciales y para la estimación de la carga
5702 microbiológica.

5703 **16.3.1.2 Centrifugación.**

5704 Utiliza la fuerza centrífuga para ayudar a la separación de las partículas de la corriente de aire de
5705 aspiración; lo anterior a través de la generación de un vórtice en el cual las partículas con suficiente
5706 inercia dejan la corriente de aire para impactar sobre la superficie de recogida cubierta o constituida
5707 por un medio de cultivo general o específico.

5708 **16.3.1.3 Muestreo de Superficies.**

5709 Permite determinar el número de agentes biológicos depositados en una superficie, siendo utilizado
5710 principalmente en estudios de higiene alimentaria, para comprobar la eficacia de los productos de
5711 desinfección o evaluar la presencia de agentes biológicos en el interior de los conductos de aire de
5712 un sistema de ventilación/climatización, industria de la piel y cuero. La toma de la muestra se realiza
5713 a través de hisopos ó tómulas estériles o por contacto directo de la superficie a muestrear con una
5714 placa tipo Rodac (Replicate Organism Direct Agar Contact), preparada con el medio de cultivo
5715 adecuado, y posterior incubación e identificación.

5716

5717 **16.3.2 Métodos Cuantitativos Directos**

5718 Dentro de los métodos directos que permiten cuantificar e identificar agentes biológicos, es posible
5719 señalar:

5720 **16.3.2.1 Muestreo en Fase Líquida.**

5721 En el caso de muestreo en fase líquida, las partículas son transferidas al medio líquido siguiendo los
5722 principios de la impactación inercial y de dispersión de las partículas en las burbujas formadas en la
5723 zona de impactación; como tal presenta ciertas ventajas sobre el muestreo en fase sólida, toda vez
5724 que a partir de una muestra se pueden realizar diferentes ensayos o determinar diferentes
5725 componentes.

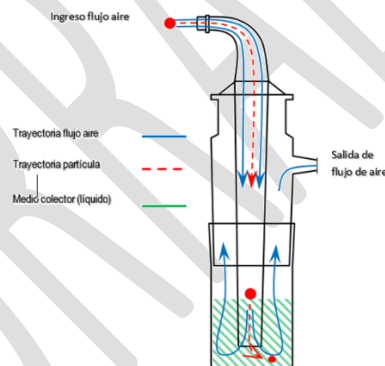
5726 En términos generales, como líquido de captación puede utilizarse cualquiera que sea compatible
5727 con el ensayo analítico y el agente biológico objeto de estudio, siendo frecuente el uso de soluciones
5728 salinas tamponadas o medios de cultivo diluidos. Entre los equipos de muestreo que utilizan esta
5729 técnica, es posible identificar los burbujeadores, ciclones lavadores y muestreadores centrífugos:

5730 a. En el caso de los **burbujeadores** o **impingers**, su principio de diseño considera la conducción de
5731 una corriente de aire al interior de un frasco que contiene un medio de captación; volumen
5732 líquido que puede verse reducido por la evaporación, lo que tiene como consecuencia una
5733 modificación de la concentración de sales que podría afectar la supervivencia de los
5734 microorganismos captados. La cantidad de líquido evaporado depende del grado de humedad
5735 del aire aspirado y de la duración del muestreo.

5736 El aire a muestrear pasa a través de un volumen conocido de líquido (suero salino, agua
5737 peptonada, medios líquidos, etc.). Las partículas abandonan la corriente de aire por impactación
5738 en el líquido, quedando retenidas en el mismo. Se transfiere una alícuota del líquido de
5739 captación en un medio de cultivo, para luego cultivar, realizar el recuento y su posterior
5740 identificación (Ver Figura 16-1).

5741

Figura 16-1 Impinger

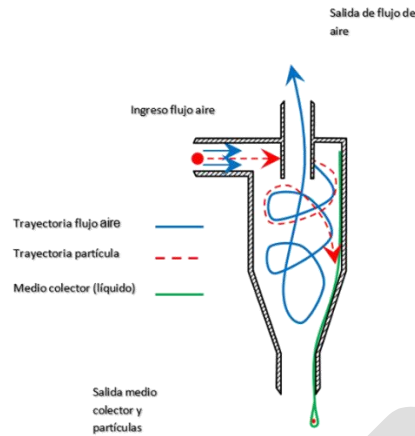


5742

5743 b. **Los ciclones lavadores**, operan sobre la base de que el fenómeno de captación se realiza en un
5744 medio líquido que baña la superficie interior del ciclón, captación potenciada por la acción de la
5745 fuerza centrífuga del aire al interior del equipo, en cuyo caso el medio líquido, con las partículas
5746 retenidas, es retirado por la parte inferior del equipo (Ver Figura 16-2).

5747

Figura 16-2 Ciclón Lavador



5748

5749

5750

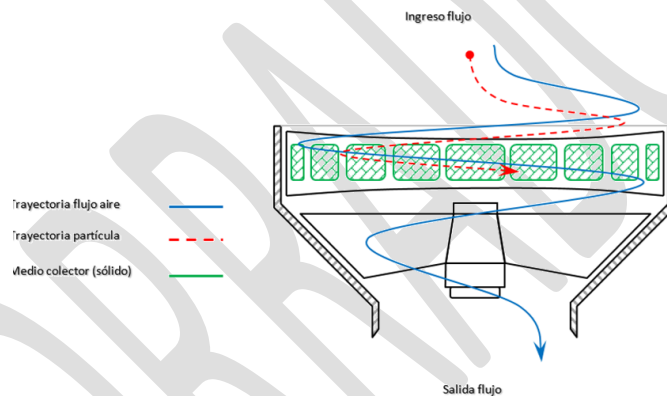
5751

5752

5753

- c. Los **muestreadores centrífugos**, funcionan bajo el principio en el que la impactación de las partículas ocurre potenciada por la acción de la fuerza centrífuga que un ventilador confiere al aire aspirado en la zona frontal del equipo, realizando la retención de las partículas en cintas flexibles que contienen medio de cultivo (Ver Figura 16-3).

Figura 16-3 Muestreador Centrifugo



5754

5755

5756

5757

5758

5759

5760

5761

5762

5763

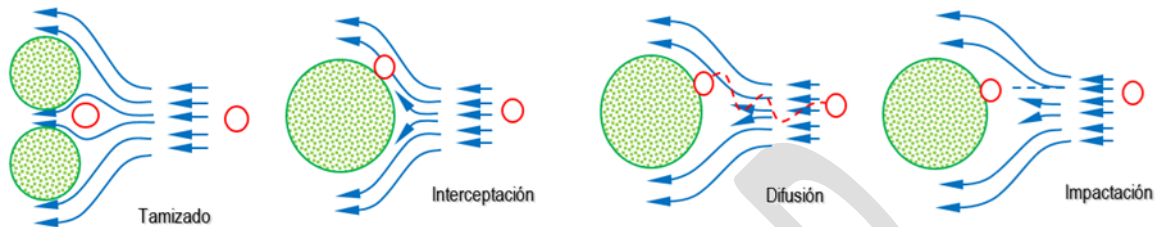
16.3.2.2 Muestreo en Fase Sólida.

5764

5765

- a. **Filtración:** corresponde al proceso de recolección de partículas suspendidas en el aire en un medio permeable (poroso) al paso del aire, filtro; proceso de recolección dependiente del diámetro aerodinámico de la partícula, tamaño del poro del filtro y del caudal de aire que atraviesa el filtro. Dependiendo de esas características se pueden distinguir cuatro principios de captación de partículas: tamizado, interceptación, impactación y difusión.
- Tamizado: El diámetro de la partícula es mayor que el tamaño del poro que forman las fibras del filtro.
 - Impactación: La inercia y velocidad de la partícula, fuerza la separación de las partículas de sus líneas de flujo de aire cuando éstas se dividen al chocar con las fibras del filtro.

- 5766 - Interceptación: Ocurre cuando las partículas de pequeño tamaño, que siguen las líneas de
5767 flujo de aire tras dividirse al chocar con las fibras, pasan lo suficientemente cerca de éstas
5768 para ser atraídas o retenidas por ellas debido principalmente a fenómenos electrostáticos.
- 5769 **b. Difusión:** las partículas más pequeñas suspendidas en el aire tienen un comportamiento similar
5770 al de las moléculas, es decir, siguen las leyes del movimiento Browniano, la retención ocurre
5771 cuando estas partículas chocan con las fibras por azar.



5772

5773

Figura 16-4. Mecanismos de captación de las partículas

5774

5775 La filtración es uno de los sistemas que permite tomar muestras personales que representan
5776 mejor el patrón de exposición de los trabajadores. En general, los filtros son los soportes de
5777 retención más utilizados cuando se pretende muestrear los componentes del bioaerosol más
5778 resistentes (esporas, polen), los productos (endotoxinas, micotoxinas, etc.), o cuando la
5779 viabilidad de los microorganismos no es esencial para el ensayo analítico seleccionado. En la
5780 Figura 16-4, se presenta un esquema de los principales mecanismos de captación por este
5781 principio.

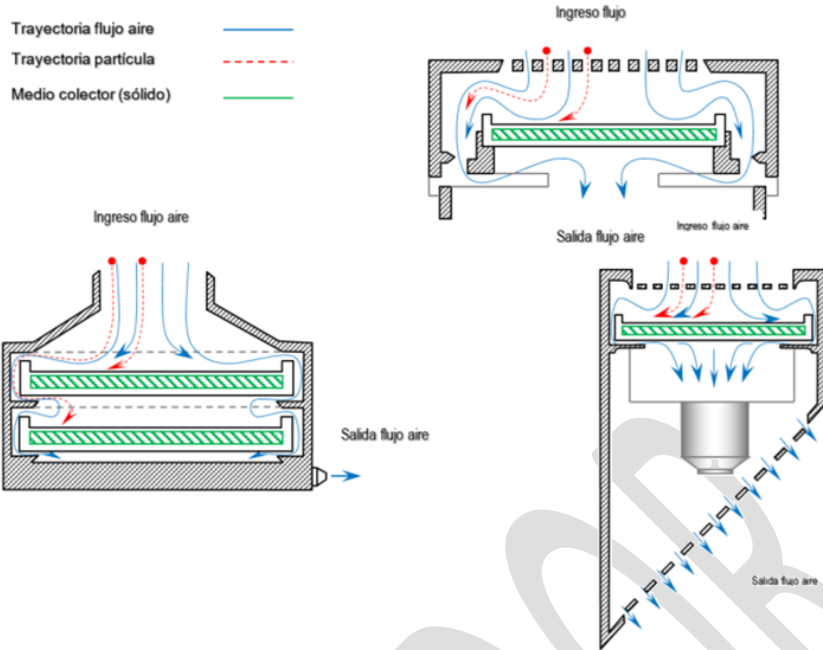
5782 El aire es aspirado a través de un medio de filtración en el cual las partículas se depositan. Su
5783 flujo es función del tipo de filtro, su tamaño y de la bomba de aspiración. El filtro más utilizado
5784 es el de membrana de policarbonato ya que las partículas pueden ser removidas fácilmente de
5785 su superficie por agitación en líquidos adecuados, procediéndose a la posterior inoculación de
5786 la suspensión formada en los medios de cultivo específicos.

5787 **c. Impactación:** El aire, aspirado por una bomba de vacío que forma parte del muestreador, pasa
5788 a través de un orificio y es dirigido a la superficie del medio de cultivo contenido en una placa
5789 de cultivo. Las partículas con suficiente momento de inercia abandonan la corriente e impactan
5790 sobre la superficie. El orificio de entrada puede consistir en una rendija o en un cabezal con un
5791 elevado número de orificios de igual diámetro y el medio de recogida de crecimiento general.
5792 Una vez tomada la muestra, las placas se incuban a una temperatura predeterminada,
5793 favoreciendo el crecimiento, evidenciado mediante la formación de una colonia en el punto de
5794 impacto. Luego, se realiza el recuento de las colonias y el cálculo de su número referido al
5795 volumen de aire muestreado, expresándose los resultados finales en términos de unidades
5796 formadoras de colonias por unidad de volumen muestreado.

5797 En cada uno de los métodos directos señalados, la identificación específica del agente biológico
5798 requiere de la resiembra en un medio idóneo, y la posterior aplicación de reacciones de
5799 identificación o estudios por morfología directa o tinciones específicas. (Ver Figura 16-5).

5800

Figura 16-5 Muestreadores Impactador multiorificio



5801

5802 El número total de microorganismos contados (U.F.C.), se modifica basado en la tabla de corrección
 5803 estadística de Feller's, para convertirlas a partículas contaminantes por metro cúbico. La Tabla de
 5804 corrección está basada en la posibilidad que varios microorganismos entren por el mismo orificio en
 5805 la tapa perforada a medida que existan más microorganismos en el ambiente a muestrear

$$Pr = N \times \sum_{x=0}^{r+1} \left(\frac{1}{N-x} \right)$$

5806

5807 Pr = es el número esperado de partículas viables para producir r orificios positivos.
 5808 N = es el número total de orificios de la placa (300)

5809

5810 Una mejor alternativa de cálculo es la siguiente:

$$Pr \approx N \int_{N-r+0.5}^{N+0.5} X^{-1} dX = N \ln((N+0.5)/(N-r+0.5))$$

5811

5812 Donde:

5813

r es el número de colonias bacterianas en la placa del instrumento de muestreo.

5814

N es el total de orificios de la tapa, a través de la cual se dispara el aire del área que se muestrea, en dirección a la Petri con el medio de cultivo.

5815

Los números de orificios suelen ser: 200, 300, 400.

5816

5817

5818 Ejemplo: N= 300 r= 150 colonias

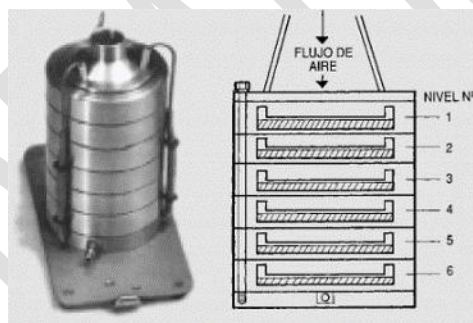
5819

Resultado: Pr = 300 * ln((300+0.5)/(300-150+0.5)) = 207,4

5820

5821 **d. Evaluación Microbiológica de otras áreas: Muestreador Andersen.** Este muestreador es un
5822 impactador en cascada que capta las partículas en una serie de placas con medio de cultivo a
5823 un caudal de aire de 28,3 l/min. En general, este impactador tiene seis niveles de captación,
5824 cada nivel está separado del siguiente por un elemento perforado por 400 orificios, debajo de
5825 cual se coloca la placa con medio de cultivo, en cada nivel todos los orificios tienen el mismo
5826 diámetro, pero de un nivel al siguiente disminuye el tamaño del diámetro de los orificios, lo que
5827 provoca un aumento de la velocidad del aire al pasar de un nivel a otro. La captación se basa en
5828 la inercia de las partículas, en el primer nivel se separan las partículas de mayor tamaño; las de
5829 menor tamaño, cuya inercia no es lo suficientemente grande, son arrastradas por la corriente
5830 de aire que pasa al siguiente nivel, al aumentar la velocidad también aumenta la inercia de las
5831 partículas arrastradas, algunas serán captadas en el segundo nivel mientras que otras seguirán
5832 en el aire pasando al tercer nivel, y así sucesivamente. El resultado final es una separación por
5833 tamaño de partícula. Los diámetros de corte teóricos para cada uno de los niveles son, del nivel
5834 1 al nivel 6, respectivamente: 7 μm , 4,7 μm , 3,4 μm , 2,1 μm , 1,1 μm y 0,65 μm . Otros modelos
5835 de este equipo se presentan con uno o dos niveles de captación. El modelo con un solo nivel
5836 dispone de una placa perforada (400 orificios), su caudal de aire es de 28,3 l/min y el diámetro
5837 de corte teórico es de 0,65 μm . En el modelo con dos niveles, las placas perforadas disponen de
5838 200 orificios, un caudal de aire de 28,3 l/min y unos diámetros de corte teóricos de 8,0 μm y
5839 0,95 μm respectivamente. Este muestreador es uno de los designados como de referencia en
5840 las pruebas de ensayo para la validación de otros muestreadores.

5841 En la figura siguiente se muestra un esquema del muestreador de 6 niveles.



5842

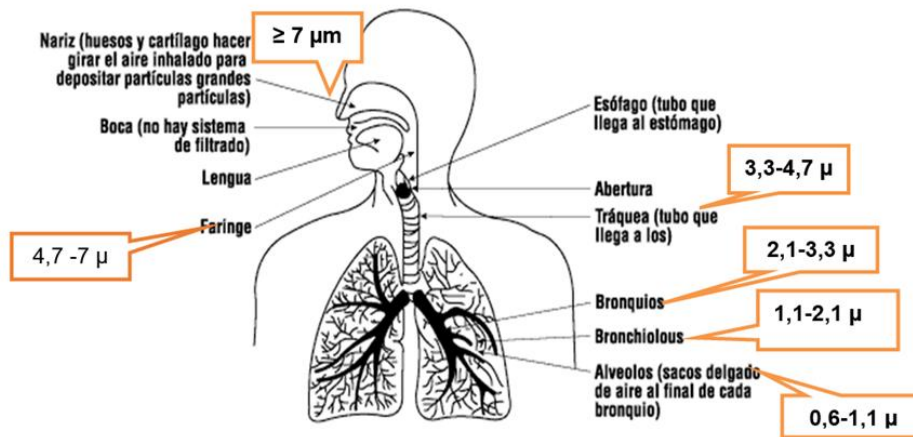
5843

5844

5845 ¿Cuáles son las partes del sistema respiratorio que se pueden ver afectadas?

5846 El diagrama inferior muestra las partes del sistema respiratorio. Se puede dividir en dos sistemas
5847 las vías aéreas superiores y las vías aéreas inferiores.

- 5848 - Las vías superiores incluyen la nariz, pasajes nasales, boca y faringe hasta las cuerdas vocales
5849 en la laringe (caja de voz o "manzana de Adán")
- 5850 - La vía inferior empieza en las cuerdas vocales, se extiende hasta la tráquea y continúa hacia
5851 abajo hasta los pequeños sacos de aire, (alvéolos) al final de cada rama del árbol bronquial.
- 5852 - El árbol bronquial incluye la tráquea, el bronco (ramas de la tráquea que van a cada lóbulo del
5853 pulmón), y los bronquiolos (ramas de los bronquios).



5854

5855

5856 ¿Cómo se depositan los particulados en los pulmones?

5857 La inhalación es la ruta más importante de exposición en el lugar de trabajo. Cuando los particulados
 5858 están en el aire, existe la posibilidad de que se inhale. Qué tan lejos llega la partícula a las vías aéreas
 5859 del sistema respiratorio, y qué hace cuando se deposita, depende del tamaño, forma y densidad del
 5860 material particulado. Las partículas se depositan en los pulmones en una de cuatro formas
 5861 diferentes: intercepción, impacto, sedimentación y difusión.

5862

	$d_{50} \mu\text{m}$ Verdadero	$d_{50} \mu\text{m}$ Teórico	N° orificios	Q L/min	D_j o W_j mm	A_j mm	U_j m/s
Etapa 1	7	6,24	400	28,3	1,18	1,10	1,08
Etapa 2	4,7	4,21	400	28,3	0,914	0,656	1,8
Etapa 3	3,3	2,86	400	28,3	0,711	0,397	2,97
Etapa 4	2,1	1,84	400	28,3	0,533	0,223	5,28
Etapa 5	1,1	0,94	400	28,3	0,343	0,092	12,8
Etapa 6	0,65	0,58	400	28,3	0,254	0,051	23,3

5863

5864 Donde:

5865 D50 = corte de diámetro o diámetro aerodinámico por encima del cual la colección del
 5866 impactador se acerca al 100 %, tanto en el verdadero y los teóricos d_{50} s

5867 Q = flujo de aire (caudal)

5868 D_j o W_j = diámetro de tamiz o agujero j anchura de rendija j

5869 A_j = área del agujero j o abertura j

5870 U_j = velocidad del aire a través de la abertura j o agujero j.

5871

5872 16.3.3 Métodos Cualitativos Indirectos

5873 Dentro de los métodos indirectos que ponen de manifiesto la presencia de elementos celulares
 5874 provenientes de los agentes biológicos, es posible identificar aquellos que detectan la presencia
 5875 de:

- 5876 a. Endotoxinas. Las endotoxinas son lipopolisacáridos componentes integrales de la membrana
5877 exterior bacteriana de las bacterias, representando el constituyente exterior de los mismos,
5878 polisacárido O, aquel que le confiere a la bacteria su especificidad serológica y posible
5879 identificación (biomarcador). Desde el punto de vista de enfermedades relacionadas con el
5880 trabajo sólo las endotoxinas aerotransportadas son relevantes. La agricultura y las industrias
5881 relacionadas proporcionan las fuentes de exposición más habitual a este tipo de agente, en
5882 particular aquellas que involucran ganado porcino, aviar, vacuno y caballar; industria del
5883 algodón; procesado de semillas, tubérculos y cereales, tratamiento de aguas residuales, basuras
5884 y compostaje, procesos industriales con reciclaje de agua; emulsiones formadas en los fluidos
5885 de corte en la metalurgia, etc.
- 5886 b. Glucanos. Es un componente de la pared celular de todos los hongos filamentosos y se le
5887 considera como la posible causa de enfermedades respiratorias, especialmente enfermedades
5888 crónicas relacionadas con la exposición a polvos orgánicos, representando como tal un
5889 biomarcador de la contaminación fúngica en aire.
- 5890 c. Ergosterol. Al ser uno de los componentes fundamentales de la membrana de los principales
5891 hongos saprofitos, es utilizado como un biomarcador de la contaminación de este tipo de
5892 hongos en el aire.

5893

5894 **16.3.4 Métodos Cuantitativos Indirectos**

5895 Otra manera de establecer la presencia y concentración de agentes biológicos, es aquella que utiliza
5896 la cuantificación de sustancias procedentes de los mismos, la cual puede ser aplicada cuando exista
5897 un método confiable de toma de muestra y análisis y cuando la concentración del analito sea
5898 proporcional a la carga microbiana, técnicas entre las que destacan:

- 5899 a. Análisis de Adenosin Trifosfato (ATP): el análisis de los niveles de ATP en las muestras es rápido
5900 e indicativo del metabolismo de la actividad microbiana. Existe una relación entre los niveles de
5901 ATP y el número de agentes microbianos, por lo que este método es a menudo utilizado junto
5902 con el muestreo de superficies en la investigación de los problemas de higiene relacionados con
5903 la efectividad de procesos de sanitización y/o desinfección en la industria alimentaria.
- 5904 b. Micotoxinas: en determinadas condiciones ambientales, el material biológico de origen fúngico
5905 presente en semillas y/o alimentos almacenados, puede emitir al ambiente (fase aérea)
5906 metabolitos secundarios de bajo peso conocidos como micotoxinas; algunas de las cuales
5907 pueden causar efectos sistémicos a nivel de sistema nervioso y local a nivel hepático y
5908 cardiovascular, incluyendo algunas con propiedades carcinogénicas. Entre las micotoxinas más
5909 importantes destacan las aflatoxinas, fumonisinas y tricoticonos.

5910 La limitación de las diferentes metodologías señaladas, se sustenta en el hecho que, en la actualidad
5911 no se dispone de datos suficientes para establecer la relación dosis-efecto/respuesta para los
5912 bioaerosoles de modo similar a lo establecido para los agentes químicos, por lo que no es posible
5913 establecer valores límites ambientales que sirvan como criterio de referencia y los existentes, solo
5914 son de tipo orientativo ⁽⁵⁶⁾.

5915 A pesar de estas limitaciones, tales metodologías son de gran utilidad al momento de la realización
5916 de estudios de exposición, debido a que entregan la naturaleza de los agentes biológicos, posibilitan

⁵⁶ En 16.5 se presenta flujograma de acciones a realizar al momento de seleccionar un método de muestreo.

5917 el estudio de situaciones específicas o la comparación de estas, por ejemplo antes y después de la
5918 aparición de quejas o patologías, comparación de dos sistemas de limpieza, efectividad de un
5919 desinfectante, resultados de un cambio en el proceso productivo, modificación de factores físicos,
5920 identificación de focos de contaminación, etc.

5921

5922 **16.4 EVALUACIÓN MICROBIOLÓGICA DE ÁREAS LIMPIAS Y/O DE CONTAMINACIÓN** 5923 **CONTROLADA**

5924 De acuerdo a lo señalado, en los puntos anteriores, una vez desarrollada la identificación y análisis
5925 del riesgo de exposición a agentes biológicos, existen una serie de metodologías de evaluación y/o
5926 determinación de la carga microbiológica presente en el lugar de trabajo, cuya aplicación requiere
5927 de la selección del instrumental y procedimiento de aplicación correspondiente; sin embargo, las
5928 metodologías de evaluación señaladas, están diseñadas para la determinación del nivel o valor de
5929 la contaminación presente en un área controlada, cuyo proceso requiera del control sobre el
5930 contenido de material viable a nivel de material en suspensión o depósito del mismo a nivel de
5931 superficies e indumentaria de trabajo ⁽⁵⁷⁾.

5932 En este sentido, las denominadas áreas controladas, están representadas por instalaciones
5933 destinadas al desarrollo de procesos que involucran la preparación y/o formulación de productos
5934 cuya condición de consumo requiera de la garantía de la no alteración de su condición original por
5935 acción microbiológica o que la presencia de los mismos represente la probabilidad de no logro del
5936 estándar de manufactura aplicable.

5937 Mención aparte, es aquella condición en la cual la presencia de un agente biológico, con riesgo
5938 intrínseco de generar daño en la salud de las personas, requiere ser controlada y la evaluación de
5939 su presencia es utilizada como herramienta para evaluar la efectividad de las medidas de control
5940 existentes.

5941 En razón de lo anterior, aun cuando se hayan identificado una serie de actividades y procesos en los
5942 que existe exposición a agentes biológicos, en ellos la presencia y exposición a los mismos no es
5943 diferente a la habitualmente presente en el medio natural, por lo que la aplicación del concepto de
5944 riesgo biológico, en relación al tipo de actividad, nivel y características de la exposición resultan ser
5945 factores gravitantes al momento de decidir la aplicación de un muestreo dirigido a identificar su
5946 presencia y/o actividad, cuya aplicación solo es posible de realizar en áreas controladas y bajo
5947 consideraciones asociadas al control del proceso en este tipo de instalaciones.

5948

5949 **16.4.1 Monitoreo Ambiental del Aire en Área Biolimpia Microbiológica Farmacéutica.**

5950 La calidad del aire de las áreas dentro de una instalación de procesamiento aséptico estará
5951 determinada por el tipo de actividad que se desarrolle en ella.

5952 Existen diversas normas para la clasificación de áreas limpias dentro de tales instalaciones, como la
5953 Norma ISO 14644 y también otras como la de la OMS, cuya clasificación y límites se presentan en la
5954 Tabla 16-1.

⁵⁷ Los muestreadores más usados en la industria farmacéutica y de dispositivos médicos son los muestreadores centrífugos y por impacto.

5955 Esta norma, además de hacer referencia al número máximo de partículas según su tamaño, orienta
 5956 con límites de contaminación microbiológica que sirvan como referencia para la toma de acciones
 5957 correctivas en caso de ser necesario.

5958 **Tabla 16-1. Clasificación de Áreas y Límites de Contaminación según la Guía OMS⁵⁸.**

Grado	En reposo	Límites de contaminación microbiológica		
	Nº máx. de partículas permitidas $\geq 0,5 \mu\text{m}/\text{m}^3$	Muestra de aire (UFC/ m^3)	Placas de sedimentación (90 mm diámetro) (UFC/4 horas)	Impresión de guante (5 dedos) (UFC/guante)
A	3520	--	Sin crecimiento	--
B	3520	10	5	5
C	352000	100	50	25
D	3520000	200	100	50

5959
 5960

16.4.1.1 Contexto.

5961 Los productos farmacéuticos estériles deben ser fabricados y controlados en ambientes asépticos
 5962 en los que el riesgo de contaminación microbiana es controlado. La norma ISO 14644-1 contempla
 5963 el diseño y construcción de salas limpias y define el desempeño de estas, estableciendo los niveles
 5964 de partículas no viables permitidas según su clasificación en torno a la calidad del aire.

5965 Un Laboratorio de Microbiología Farmacéutica cuenta con un Área Biolimpia, destinada
 5966 exclusivamente a la ejecución de ensayos de esterilidad de productos farmacéuticos y conformada
 5967 por las salas MB-6 (vestidor), MB-7 (precámara) y MB-8 (sala de ensayos); en esta última, se
 5968 encuentra un Gabinete de Bioseguridad Clase II A2. Esta área debe estar calificada por una empresa
 5969 externa según Norma ISO14644-1.

5970 El monitoreo ambiental evalúa la calidad microbiológica del aire de las áreas críticas, constituyendo,
 5971 por un lado, un indicador de la efectividad de los sistemas de aire y de las tareas de limpieza,
 5972 desinfección y mantenimiento de dichas áreas, y por otro, evidencia que sustenta la calidad del aire durante
 5973 la ejecución de los análisis de esterilidad.

5974

5975 16.4.1.2 Tipos de monitoreo de aire.

5976 **16.4.1.2.1 Monitoreo pasivo por Sedimentación:** consiste en la exposición de placas de Petri con
 5977 un medio de cultivo sólido al ambiente de trabajo, por un tiempo que no debe exceder
 5978 las 4 horas. Los resultados se expresan como “unidades formadoras de colonias/placa”
 5979 (UFC/placa).

5980 **16.4.1.2.2 Monitoreo activo por Impactación:** consiste en la impactación de un volumen
 5981 determinado de aire sobre un medio de cultivo sólido a través de equipo MAS 100-NT,
 5982 que aspira a través de un cabezal perforado 100 litros de aire por minuto (ver IT-423.00-
 5983 034). Después del ciclo de colección, la placa de Petri es incubada y las unidades
 5984 formadoras de colonias (UFC) son contadas y corregidas por medio de un análisis
 5985 estadístico, de acuerdo con la indicación en el manual del equipo. Dicha corrección se
 5986 basa en la posibilidad de que varios microorganismos ingresen por el mismo orificio en

⁵⁸ Quality assurance of pharmaceuticals. A compendium of guidelines and related materials. 10th edition, Volume 2. Good manufacturing practices and inspection. World Health Organization 2023. 3. WHO good manufacturing practices: specific pharmaceutical products: Sterile pharmaceutical products (<https://www.who.int/news/item/29-02-2024-who-launches-pharmaceutical-quality-assurance-guidelines--10th-edition>).

5987 el cabezal, a medida que existan más microorganismos en el ambiente a muestrear.
5988 Cuando esto sucede, las colonias crecen tan juntas en la placa de Petri que son
5989 indistinguibles. Debido a este efecto, el número de UFC contadas y el número real de
5990 UFC no son idénticos. La corrección de orificios positivos de Feller considera este efecto
5991 y corrige las UFC con la siguiente fórmula:

5992

5993
$$Pr = N \left[\frac{1}{N} + \frac{1}{N-1} + \frac{1}{N-2} + \dots + \frac{1}{N-r+1} \right]$$

5994

5995
$$Pr = N \sum_{x=0}^{r+1} \frac{1}{N-x}$$

5996

5997
$$Pr = N \int_{N-r+0,5}^{N+0,5} X^{-1} dx$$

5998

5999
$$Pr = N \times \ln \left(\frac{N+0,5}{N-r+0,5} \right)$$

6000

En la expresión anterior,

6001

Pr: Valor corregido de UFC.

6002

N: Número de orificios del cabezal (300 en el caso de los cabezales disponibles en el laboratorio MF).

6003

6004

r: Número de UFC contadas en placa.

6005

6006

Luego de aplicar la corrección, y si el volumen de aire succionado en el ciclo fue de 1000 L, entonces los resultados quedan expresados en UFC/m³ (dado que 1000 L = 1 m³). Para ciclos con volúmenes diferentes, se debe realizar la conversión a UFC/m³.

6007

6008

6009

6010

16.4.1.2.3 Comparación de estándares internacionales.

6011

La calidad del aire de las áreas dentro de una instalación de procesamiento aséptico estará determinada por el tipo de actividad que se desarrolle en ella. Existen diversas normas para la clasificación de áreas limpias dentro de tales instalaciones, como la Norma ISO 14644, y también otras como la de la OMS1, cuya clasificación y límites se presentan en la Tabla 16-1. Esta norma, además de hacer referencia al número máximo de partículas según su tamaño, orienta con límites de contaminación microbiológica que sirvan como referencia para la toma de acciones correctivas en caso de ser necesario.

6012

6013

6014

6015

6016

6017

6018 Por su parte, la guía GMP de la UE⁵⁹ considera los mismos grados de clasificación y n° de
 6019 partículas/m³ que la Guía OMS. En dicha guía, para las áreas de Grado A, el límite microbiológico se
 6020 expresa como “sin crecimiento”.

6021 En tanto, la guía de Buenas Prácticas de Manufactura para productos estériles producidos por
 6022 procesamiento aséptico de la FDA³, propone también límites máximos de acción microbiológicos
 6023 para salas Clase ISO, los que se muestran en la Tabla 16-2

6024 **Tabla 16-1. Clasificación de áreas según ISO 14644 y Guía FDA / Límites de acción según Guía GMP de la**
 6025 **FDA⁶⁰**

Designación ISO	N° partículas \geq 0.5 μm^3	Límite de acción microbiológico – Aire activo (UFC/m ³)	Límite de acción microbiológico – placas de sedimentación (diam. 90 mm; UFC/4 hrs)
5	3520	1	1
6	35200	7	3
7	352000	10	5
8	3520000	100	50

6026

6027 **16.4.1.3 Límites de acción**

6028 Durante la evaluación del área biolimpia por empresa externa, se realiza conteo de partículas \geq 0,5
 6029 μm^3 y según los valores obtenidos, se clasifica cada sala de acuerdo con la Norma ISO 14644.
 6030 Además, la Norma Técnica N°180 “Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) para Laboratorios de
 6031 Microbiología Farmacéutica”, basada en la Guía OMS, establece que el ensayo de esterilidad debe
 6032 realizarse dentro de una zona Grado A o una cabina de bioseguridad, y esta a su vez debe localizarse
 6033 dentro de un cuarto limpio con un entorno Grado B. Teniendo en cuenta lo anterior, los datos de N°
 6034 de partículas recopilados durante la clasificación (‘At rest’) más reciente indican que, para partículas
 6035 \geq 0,5 μm :

- 6036 - Dentro de gabinete de bioseguridad, el ambiente cumple con límite microbiológico para
 6037 ISO 5 y y Grado A.
- 6038 - El ambiente en la sala MB-8 (sala donde se ubica el gabinete) cumple ISO 5 y Grado B.
- 6039 - El ambiente en Pre-cámara (sala MB-7) cumple límites para ISO 7 y Grado C.
- 6040 - El ambiente en Vestidor (sala MB-6) cumple límites para ISO 8 y Grado D.

6041 En cuanto a los límites microbiológicos, considerando los datos históricos de monitoreos
 6042 ambientales dentro del área biolimpia y las guías mencionadas, se decide adoptar los límites más
 6043 estrictos correspondientes a los de la Guía FDA (ver Tabla 16-2). Para el caso particular de la sala
 6044 MB-8, la cual cumple con los límites microbiológicos ISO 5 y Grado B, se decide adoptar el límite
 6045 microbiológico ISO 6, que es más estricto que el de Grado B (7 UFC/ m³ vs 10 UFC/ m³) pero más

⁵⁹ The Rules Governing Medicinal Products in the European Union Volume 4 EU Guidelines for Good Manufacturing Practice for Medicinal Products for Human and Veterinary Use, Annex 1 Manufacture of Sterile Medicinal Products. (https://health.ec.europa.eu/system/files/2022-08/20220825_gmp-an1_en_0.pdf)

⁶⁰ Guidance for Industry Sterile Drug Products Produced by Aseptic Processing — Current Good Manufacturing Practice. U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Biologics Evaluation and Research (CBER), Office of Regulatory affairs (ORA). September 2004 Pharmaceutical CGMPs (<https://www.fda.gov/media/71026/download>).

6046 amplio que ISO 5 (1 UFC/ m³ vs 7 UFC/ m³). Con ello, se da cumplimiento a lo establecido en la Norma
 6047 Técnica N°180, manteniendo un margen razonable para el Monitoreo Ambiental.

6048 En resumen, la clasificación según el N° de partículas y los límites microbiológicos para cada punto
 6049 de muestreo dentro del área biolimpia, se establecen según se muestra en la Tabla 16-3 a
 6050 continuación:

6051 **Tabla 16-3. Límites de acción de monitoreo ambiental en Área Biolimpia Laboratorio MF**

Punto de muestreo	Clasificación	Tipo de monitoreo	Límite de acción
Gabinete de bioseguridad	Clase 5 y Grado A	Impactación	Sin crecimiento
		Sedimentación	Sin crecimiento
Sala MB-8	Clase 6 y Grado B	Impactación	Hasta 7 UFC/m ³
		Sedimentación	Hasta 3 UFC/placa
Sala MB-7	Clase 7 y Grado C	Impactación	Hasta 10 UFC/m ³
		Sedimentación	Hasta 5 UFC/placa
Sala MB-6	Clase 8 y Grado D	Impactación	Hasta 100 UFC/m ³
		Sedimentación	Hasta 50 UFC/placa
Guante dentro de gabinete	Grado A	Impresión en placa (5 dedos)	Sin crecimiento

6052

6053 **16.4.1.4 Procedimiento.**

6054 **16.4.1.4.1 Limpieza y Mantención.**

- 6055 - El laboratorio debe contar con un plan de limpieza y desinfección. Cada vez que se realice
 6056 la limpieza y desinfección del área controlada involucrada, se debe registrar dicha actividad.
- 6057 - En el caso particular de un ensayo de esterilidad en área biolimpia MBF, se debe programar
 6058 la limpieza y desinfección terminal del área previo a la ejecución de dicho ensayo.

6059

6060 **16.4.1.4.2 Condiciones ambientales para ejecución del Monitoreo Ambiental.**

- 6061 - Se recomienda que al ingresar al área biolimpia, los diferenciales de presión de las tres salas
 6062 (MB-6, MB-7 y MB-8) no sea menor a 0,020 pulgadas de columna de agua (Referencia: USP
 6063 capítulo <797>). Se considerarán presiones diferenciales ideales de trabajo valores iguales
 6064 o superiores a 0,05 pulgadas de columna de agua. Los diferenciales de presión se deben
 6065 registrar al ingresar y salir del área, en la hoja "Diferencial de Presión" del manómetro
 6066 correspondiente.
- 6067 - Se recomienda realizar el monitoreo bajo las siguientes condiciones de temperatura y
 6068 humedad relativa:
 - 6069 • Temperatura: 15 - 25 °C / Humedad relativa: 0% – 80%
- 6070 - Respecto al monitoreo ambiental área biolimpia, registrar:
 - 6071 • La hora de ingreso y de salida al área biolimpia.
 - 6072 • La lectura del diferencial de presión de las salas involucradas, antes de
 6073 ingresar al área biolimpia y luego al salir, tras finalizar el monitoreo
 - 6074 • La temperatura y la humedad relativa de la sala MB-8 a la hora de ingreso y
 6075 de salida.

6076

6077 **16.4.1.4.3 Ejecución del monitoreo ambiental en reposo.**

- 6078 - Considerar que antes del ingreso al área para realizar cualquier monitoreo debe hacer uso
6079 de los EPP.
- 6080 - Luego de la limpieza y desinfección del área controlada, se debe realizar un monitoreo
6081 ambiental con el fin de determinar la efectividad de la limpieza y liberar el espacio para su
6082 uso en el ensayo de esterilidad. Durante este monitoreo el analista debe permanecer en
6083 reposo y desplazarse sólo para disponer las placas de sedimentación e impactación.
6084 Mientras se desarrolla el ciclo de succión de aire en el impactador, el analista debe
6085 permanecer sentado, sin realizar grandes movimientos y a una distancia lo más alejada
6086 posible del punto de muestreo.
- 6087 - Iniciar realizando el monitoreo pasivo por sedimentación. Para ello, disponer las placas con
6088 agar soya triptona y agar Sabouraud dextrosa o Sabouraud con cloranfenicol, en el mesón
6089 de trabajo de la sala MB-8. Mantener las placas de sedimentación abiertas durante el
6090 tiempo que tome el monitoreo ambiental, sin superar las 4 horas de exposición.
- 6091 - Luego, llevar a cabo el **monitoreo activo por impactación**, empleando un equipo idóneo y
6092 placas de Petri con agar soya triptona. Revisar que las placas sean del tamaño adecuado
6093 para el equipo utilizado.
- 6094 • Para cada punto de muestreo, se debe seleccionar en el equipo el ciclo que esté
6095 configurado para muestrear 1000 L de aire durante 10 minutos. El orden para
6096 realizar el monitoreo activo debe ser desde el punto con clasificación ISO más baja
6097 al punto con clasificación ISO más alta, según el orden a continuación:
- 6098 1° Centro del gabinete de bioseguridad (I.1)
 - 6099 2° Mesón sala MB-8 (I.2)
 - 6100 3° Ingreso de aire de la sala MB-8 (I.3)
 - 6101 4° Ingreso de aire de la sala MB-7 (precámara, I.4)
 - 6102 5° Ingreso de aire de la sala MB-6 (vestidor, I.5)
- 6103 • Antes de monitorear el aire del interior del gabinete, se debe dejar que purgue por
6104 15 minutos.
- 6105 - En caso de no contar con un impactador de aire, los puntos de muestreo de ingreso de aire
6106 a sala MB-8, ingreso de aire a sala MB-7 (precámara) e ingreso de aire a sala MB-6 (vestidor),
6107 que rutinariamente se monitorearían por impactación, deberán ser monitoreados por
6108 sedimentación:
- 6109 • Para ello, disponer las placas abiertas durante no más de 4 hrs en los. Si se requiere
6110 continuar el monitoreo más allá de las 4 horas, disponer placas nuevas en cada
6111 punto indicado.
 - 6112 • Los puntos de muestreo de gabinete y mesón no requieren placas de sedimentación
6113 extra, dado que rutinariamente ya se considera este tipo de monitoreo en dichos
6114 puntos.
- 6115 - Al terminar cada punto de muestreo, sellar la placa e incubar en posición invertida en las
6116 condiciones que indica la siguiente Tabla 16-4.

6117
6118

Tabla 16-4. Condiciones de incubación

Medio de cultivo	Condiciones de incubación
------------------	---------------------------

Agar soya triptona	3 a 5 días a 30 - 35 °C
Agar Sabouraud dextrosa	5 a 7 días a 20 - 25 °C

6119

6120 - A partir de la fecha del monitoreo, se establece un plazo de 7 días corridos dentro del cual
6121 se debe realizar el ensayo de esterilidad

6122 - De forma excepcional, se podrá extender la liberación del área por más de 7 días desde la
6123 realización del monitoreo en reposo, siempre y cuando no haya ningún ingreso de personal
6124 (interno y externo) posterior al monitoreo, en todo el período.
6125

6125

6126 **16.4.1.4.4 Ejecución monitoreo ambiental en proceso**

6127 - Cada vez que se lleve a cabo un ensayo de esterilidad en el área biolimpia, se debe realizar
6128 en paralelo el monitoreo ambiental según se describe en los siguientes puntos. El propósito
6129 es evaluar la calidad del aire durante el desarrollo del ensayo, en el contexto del
6130 aseguramiento de la validez del ensayo.

6131 - Iniciar con el monitoreo pasivo por sedimentación. Para ello, disponer en el fondo del
6132 gabinete (derecha, centro e izquierda) las placas con agar soya triptona y agar Sabouraud
6133 dextrosa o Sabouraud con cloranfenicol. Mantener las placas de sedimentación abiertas
6134 durante el tiempo que tome el ensayo al interior del gabinete. Si transcurren 4 horas desde
6135 que se colocaron las placas y el ensayo aún no finaliza, se deben reemplazar las placas por
6136 otras nuevas, rotulando las placas con el orden y hora en que se pusieron.

6137 - Después, realizar el monitoreo activo por impactación dentro del gabinete, según se indica
6138 en la sección anterior. El o la analista que asiste fuera del gabinete, continuará muestreando
6139 en los siguientes puntos mientras se ejecuta el ensayo.

6140 - En caso de no contar con impactador de aire para realizar monitoreo activo, proceder según
6141 se indica para monitoreo activo por impactación, de la sección anterior

6142 - Realizar monitoreo de guantes estériles por impresión de dedos (control de esterilidad de
6143 guantes). Para ello, el o la analista que ejecuta el ensayo debe colocarse un par de guantes
6144 estériles dentro del gabinete, empleando técnica aséptica, y sin tocar ningún otro objeto,
6145 presionar sobre una placa de agar soya triptona los 5 dedos de la mano. Realizar con cada
6146 mano, empleando una placa por cada una.

6147 - Al terminar cada punto de muestreo, cerrar la placa e incubar en posición invertida en las
6148 condiciones que señala la Tabla 16-4
6149

6149

6150 **16.4.1.4.5 Registro de resultados: conteo de colonias y morfología colonial**

6151 - Registrar diariamente el conteo de colonias

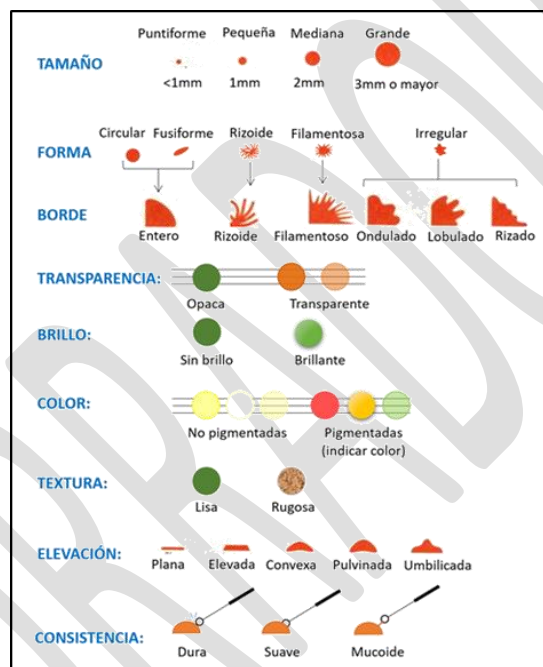
6152 - En este mismo registro se debe proveer una descripción de las morfologías detectadas al
6153 término del período de incubación (dado que el tamaño, forma y otras características
6154 pueden variar con el transcurso de los días de incubación), indicando el punto de muestreo
6155 donde se encontró. Como guía para realizar la descripción, en la Figura 16-6 y 16-7 se
6156 ilustran las características que componen la morfología colonial. Para las colonias de
6157 hongos, considerar además los aspectos presentados en la Figura 16-8.

6158 - De acuerdo a las características que se observen de cada colonia detectada, se establecerá
6159 si alguna morfología se presenta en más de una colonia. Luego, a cada morfología se le
6160 asigna arbitrariamente una letra (A, B, C, D, etc.), debiendo quedar claramente consignado
6161 en la descripción de las morfologías.

- 6162 - Al término del período de incubación de las placas, se deben traspasar los conteos de
- 6163 colonias registrados, correspondientes al último día registrado.
- 6164 - En base a los resultados de UFC/m³ (impactación) o al conteo directo de UFC en placa
- 6165 (sedimentación), se determinará el cumplimiento del límite de acción para cada punto,
- 6166 indicando “Cumple” o “No cumple”
- 6167 - Importante. Como se indicó antes, el volumen de succión de aire por cada ciclo de muestreo
- 6168 se ha establecido en 1000 L (1 m³). Así, cuando se aplica la corrección de Feller a los datos
- 6169 ingresados, los resultados quedan expresados en UFC/m³.
- 6170 - Se recomienda, además del registro en una hoja de trabajo, tomar registros fotográficos de
- 6171 las colonias y mantener estos archivos respaldados en el sistema interno de información,
- 6172 almacenando según modalidad de monitoreo (en reposo o en proceso) y fecha de ejecución.

6173
6174

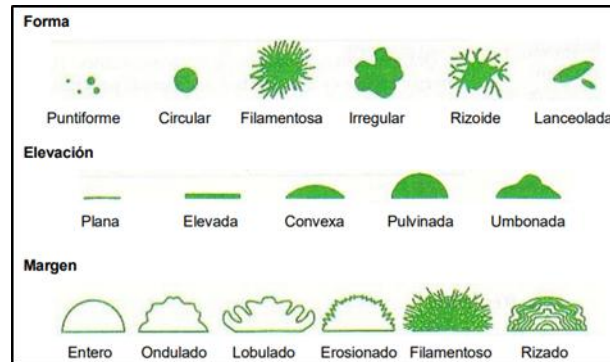
Figura 16-6



6175
6176
6177

6178

Figura 16-7



6179

6180

6181

Figura 16-8

<p>Tamaño. Grande, mediana, pequeña.</p> <p>Color. Ver en superficie, reverso o difusión al medio.</p> <ul style="list-style-type: none">➤ Los hongos dematiáceos dan color marrón o negro en el anverso y negro en el reverso.➤ Los dermatofitos presentan diversa gama de colores en el anverso y reverso de la colonia. <p>Superficie. Brillante, lisa, granular, rugosa, aterciopelada, terrosa, algodonosa.</p> <p>Consistencia. Viscosa, mantecosa, friable (se disgrega al tocarla), dura.</p> <p>Densidad (con luz a través de la colonia). Opaca, Transparente, Traslúcida.</p>
--

6182

6183

16.4.1.4.6 Identificación de cepas recuperadas desde monitoreo ambiental

6184

6185

6186

6187

6188

6189

6190

6191

6192

6193

6194

6195

6196

6197

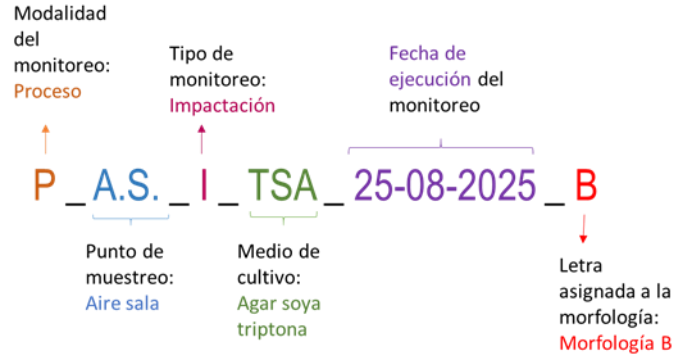
6198

6199

6200

6201

- La decisión sobre si una morfología debe ser identificada o no se tomará en base a las siguientes consideraciones:
 - Si se trata de una morfología propia de la microbiota interna, ya detectada en otros monitoreos y si todas las muestras del ensayo de esterilidad que se analizaron ese día, están negativas, entonces se puede prescindir de la identificación de la morfología detectada.
 - Si se detecta una nueva morfología, independientemente del resultado de las muestras de esterilidad analizadas ese día, se debe efectuar la identificación.
 - Cuando una o más muestras de esterilidad resulten positivas, es necesario efectuar la identificación de todas las morfologías detectadas, independientemente de si corresponden a morfologías detectadas en monitoreos anteriores. Ello, con el fin de determinar la validez de los resultados positivos de esterilidad.
- En caso de que se proceda a la identificación de la cepa, a cada morfología previamente individualizada, se le debe asignar un código de identificación de acuerdo al siguiente ejemplo:



6202
6203
6204
6205
6206
6207
6208
6209
6210
6211
6212
6213
6214
6215
6216
6217
6218
6219
6220
6221
6222
6223
6224
6225
6226
6227
6228
6229
6230
6231
6232
6233
6234
6235
6236
6237

- Abreviaciones para codificación de morfologías:

Modalidad:

- R: Reposo (monitoreo post limpieza terminal)
- P: Proceso

Punto de muestreo:

- Gb: Gabinete de Bioseguridad
- M: Mesón sala MB-8
- A.S.: Aire sala
- P.C.: Precámara
- V: Vestidor

Tipo de monitoreo:

- I: Impactación
- SD: Sedimentación

Medio de cultivo:

- TSA: Agar soya triptona (Tryptone Soy Agar)
- SDA: Agar Sabouraud Dextrosa (Sabouraud Dextrose Agar)

- Preparación del subcultivo para identificación de cepa recuperada:

- Picar la colonia detectada y sembrar en un medio adecuado, como por ejemplo caldo soya triptona. Incubar a 32,5 °C por 24-72 hrs.
- En caso de saber que la colonia corresponde a una levadura, se podría utilizar caldo Sabouraud dextrosa e incubar a 22,5 °C por 3-5 días. Si se trata de un hongo filamentoso, idealmente enviar la placa original si se trata de solo una colonia en la placa. Si se requiere aislar el hongo, traspasar directamente a una placa con agar Sabouraud dextrosa e incubar por 5 -7 días a 22,5 °C.
- Desde el cultivo en medio de líquido, traspasar a agar soya triptona o agar Sabouraud dextrosa (si se trata de levaduras), sembrando en pentágono para obtener colonias aisladas. Incubar a 32,5 °C o 22,5 °C según el caso, hasta observar colonias aisladas. Sobre este segundo subcultivo se efectuará la identificación de la cepa.
- En caso de haber aislado un hongo filamentoso, la identificación se realiza con el primer subcultivo en agar Sabouraud dextrosa.

- 6238 - La identificación de cepas de monitoreo se realizará en un laboratorio adecuado para estos
6239 fines, ya sea por técnicas microbiológicas tradicionales o automatizadas
6240
- 6241 - Coincidencia de cepas recuperadas: Ensayo de Esterilidad positivo vs monitoreo ambiental
6242 en proceso
- 6243 • En caso de detectar un microorganismo en una muestra analizada por ensayo de
6244 esterilidad, se debe registrar las cepas halladas, tanto en el ensayo de esterilidad
6245 como en el monitoreo en proceso, registrando, además:
- 6246 - El cumplimiento de límites de acción “Conforme” o “No conforme”, según
6247 corresponda.
- 6248 - Y las Coincidencias de cepas para indicar si hay o no coincidencia entre las
6249 cepas recuperadas de acuerdo a los resultados de identificación o informar
6250 “no aplica” en caso de que en el monitoreo no se haya detectado ninguna
6251 colonia en ningún punto de muestreo.
- 6252 - Conformidad del monitoreo ambiental
- 6253 • Monitoreo ambiental en reposo:
- 6254 - Se considerará conforme cuando todos los puntos muestreados cumplan el
6255 límite de acción, en cuyo caso el área biolimpia queda liberada para
6256 ejecución de ensayos de esterilidad.
- 6257 - En caso de superar algún límite de acción, se deben llevar a cabo las
6258 siguientes acciones correctivas:
- 6259 - Repetir la limpieza terminal, luego dejar funcionando el flujo de aire
6260 del gabinete de bioseguridad y dejar un período de, al menos, 24
6261 hrs para ingresar a realizar el monitoreo ambiental en reposo. Esto,
6262 con el fin de permitir la recirculación de aire y favorecer la purga.
- 6263 - Realizar el monitoreo en reposo. Sólo se autorizará el ingreso al área
6264 biolimpia para la realización de ensayos de esterilidad una vez que
6265 haya finalizado el período de incubación de todas las placas y se
6266 confirme el cumplimiento de todos los puntos.
- 6267 - Si en este segundo monitoreo se presenta nuevamente una
6268 excursión en cualquier punto de muestreo, se deben indagar las
6269 posibles causas y no se podrá ingresar al área hasta la resolución de
6270 la investigación.
- 6271 - Posibles causas a considerar:
- 6272 ✓ Filtros de aire de UMAs
- 6273 ✓ Hermeticidad del área
- 6274 ✓ Diferenciales de presión
- 6275 ✓ Presión positiva
- 6276 ✓ Aumento de la humedad relativa
- 6277 ✓ Ingresos de personal externo o sin entrenamiento
- 6278 ✓ Controles de medios de cultivo (TSA y SDA)
- 6279 - Completar “Estudio de desviaciones durante Monitoreo Ambiental
6280 en Área Biolimpia” y aplicar las acciones que corresponda.
6281

- 6282 - Monitoreo ambiental en proceso: Su principal propósito es sustentar los resultados de los
6283 ensayos de esterilidad aplicados a muestras de productos farmacéuticos y/o dispositivos
6284 médicos, respecto a la minimización del riesgo de contaminación cruzada del ambiente
6285 hacia la muestra durante el análisis.
- 6286 • Por tanto, bajo esta lógica, los ensayos de esterilidad negativos se asumen válidos
6287 en cuanto al riesgo de contaminación cruzada, dada la ausencia de crecimiento
6288 microbiano en los medios FTG y TSB, y, en consecuencia, la conclusión del
6289 monitoreo ambiental no incide en la validez del ensayo
 - 6290 • Por otro lado, para determinar la validez de un resultado positivo en el ensayo de
6291 esterilidad (aquel que presenta desarrollo microbiano en uno o ambos medios de
6292 cultivo FTG y/o TSB), será necesario evaluar en conjunto tanto el cumplimiento de
6293 límites de acción durante el monitoreo en proceso como también, si existe o no
6294 coincidencia entre la(s) cepa(s) recuperada(s) desde la muestra analizada en el
6295 ensayo de esterilidad y la(s) cepa(s) detectada(s) en el monitoreo en proceso.
 - 6296 • En la Tabla 16-5 se establece el esquema resumen para la toma de decisión respecto
6297 a la validez del resultado de ensayo de esterilidad, considerando cumplimiento de
6298 límites de acción y coincidencia entre cepas recuperadas.

6299

6300

Tabla 16-5 Conformidad del monitoreo ambiental en proceso para ensayo de esterilidad

Caso	Cumplimiento de límites de acción del monitoreo en proceso	Conclusión monitoreo	Resultado ensayo esterilidad	Coincidencia entre cepas recuperadas: Ensayo esterilidad vs Monitoreo en proceso	Validez resultado ensayo esterilidad
1	Se cumplen todos los límites de acción o se cumplen sólo límites de puntos críticos (*).	Conforme	Negativo	No aplica, por ensayo de esterilidad negativo	Monitoreo valida resultado
2	Se cumplen todos los límites de acción o se cumplen sólo límites de puntos críticos (*).	Conforme	Positivo	No hay coincidencia entre cepa(s) hallada(s) en ensayo de esterilidad y cepa(s) detectada(s) en monitoreo ambiental en proceso o No aplica, por monitoreo ambiental sin detección de colonias.	Monitoreo valida resultado
3	Se cumplen todos los límites de acción o se cumplen sólo límites de puntos críticos (*).	Conforme	Positivo	Cepas coinciden	Coincidencia invalida resultado
4	Uno o más puntos críticos no cumple(n) límite de acción.	No conforme	Positivo	No hay coincidencia o Cepas coinciden	Monitoreo invalida resultado
5	Uno o más puntos críticos no cumple(n) límite de acción.	No conforme	Negativo	No aplica	No afecta validez del ensayo de esterilidad

6301

6302

(*) Los puntos críticos para el ensayo de esterilidad se establecen en base al riesgo de contaminación de la muestra a analizar en dicho punto, considerando el grado de exposición de la muestra a ese ambiente y la clasificación ISO del mismo.



6303 Según esto, los puntos críticos son: Interior del gabinete, impresión de guantes, mesones en sala MB-8, salida de aire en
6304 sala MB-8. Por su parte, los puntos de precámara y vestidor no se consideran críticos, dado que la muestra no se expone
6305 directamente a estos ambientes durante el proceso, pues ingresa en contenedor con tapa a través de un transfer hacia la
6306 precámara e inmediatamente desde ahí, pasa a la sala MB-8.

6307

6308

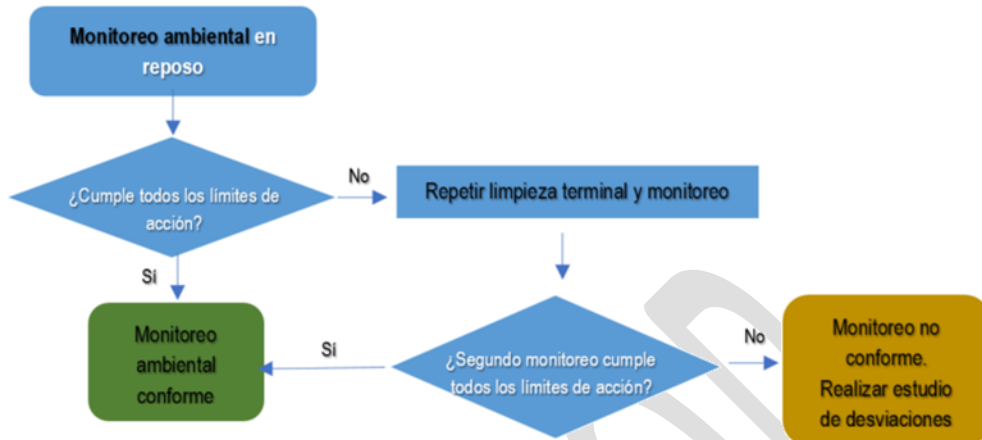
BORRADOR

6309 **16.5 DIAGRAMAS DE FLUJO**

6310

6311

MONITOREO EN REPOSO

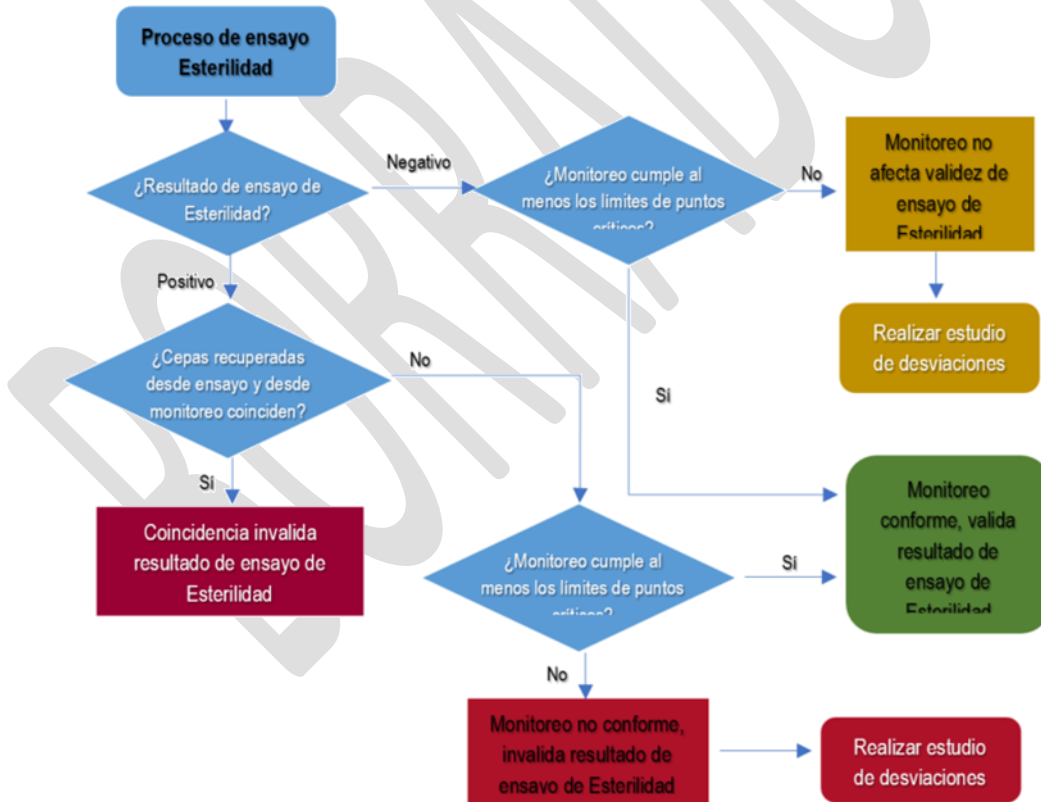


6312

6313

6314

MONITOREO DURANTE ENSAYO DE ESTERILIDAD

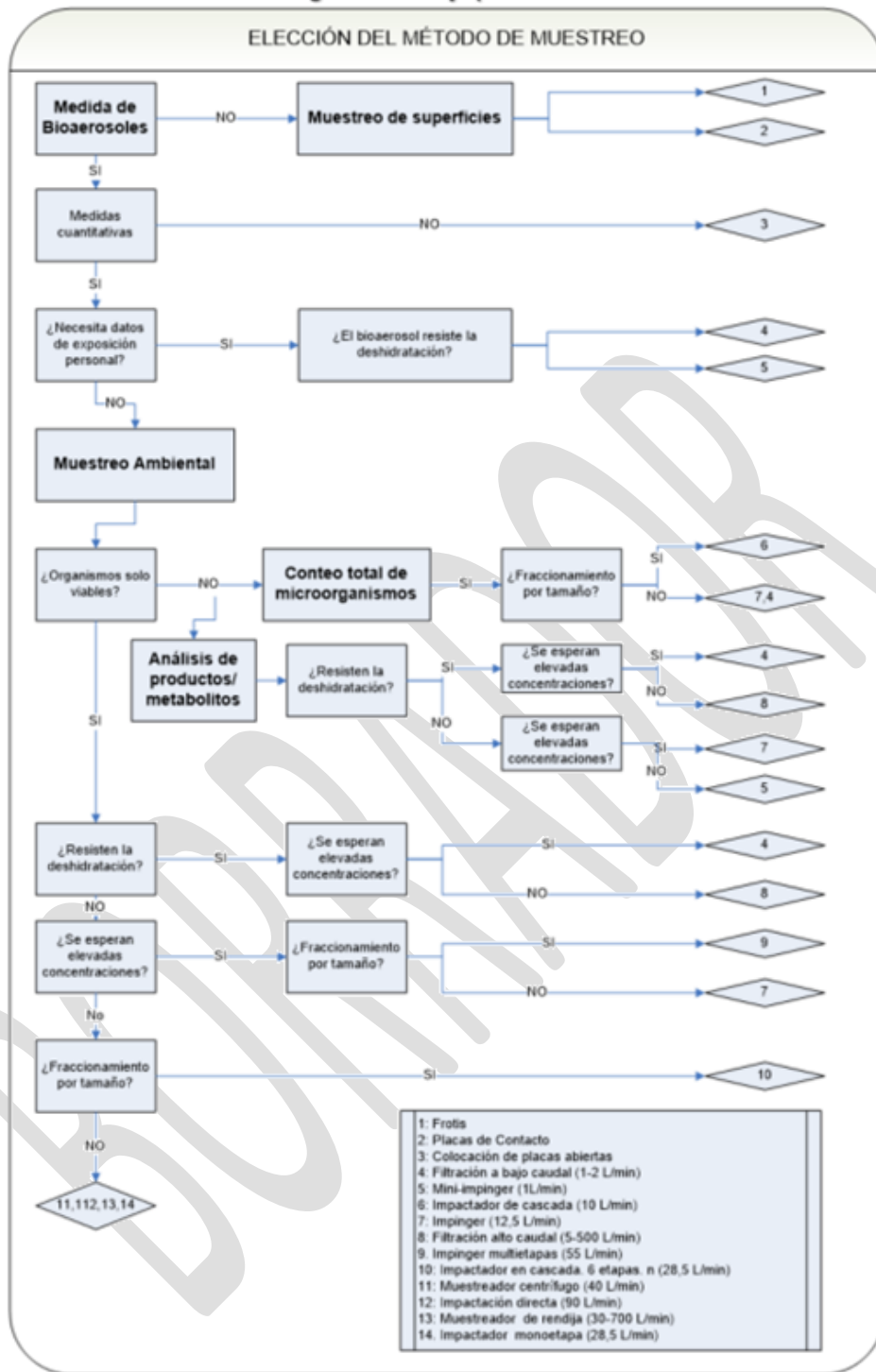


6315

6316

6317

ELECCION DEL MÉTODO DE MUESTREO



6323	-	<i>Bacillus anthracis</i> (sólo cultivos)	6374	-	<i>Rickettsia rickettsii</i> (sólo cultivos)
6324	-	<i>Brucella abortus</i> (sólo cultivos)	6375	-	Virus de la fiebre del Valle del Rift (sólo cultivos)
6325	-	<i>Brucella melitensis</i> (sólo cultivos)	6376	-	Virus de la encefalitis rusa de primavera – verano (sólo cultivos)
6326	-	<i>Brucella suis</i> (sólo cultivos)	6377	-	Virus Rabia
6327	-	<i>Burkholderia mallei</i> – <i>Pseudomonas mallei</i> – muermo (sólo cultivos)	6378	-	<i>Shigella dysenteriae</i> de tipo 1 (sólo cultivos)
6328	-	<i>Burkholderia pseudomallei</i> – <i>Pseudomonas pseudomallei</i> (sólo cultivos)	6379	-	Virus de la encefalitis transmitida por garrapatas (sólo cultivos)
6329	-	<i>Chlamydia psittaci</i> – cepas aviares (sólo cultivos)	6380	-	Virus variólico
6330	-	<i>Clostridium botulinum</i> (sólo cultivos)	6381	-	Virus de la encefalitis equina venezolana (sólo cultivos)
6331	-	<i>Coccidioides immitis</i> (sólo cultivos)	6382	-	Virus del Nilo Occidental (sólo cultivos)
6332	-	<i>Coxiella burnetii</i> (sólo cultivos)	6383	-	Virus de la fiebre amarilla (sólo cultivos)
6333	-	Virus de la fiebre hemorrágica de Crimea y el Congo	6384	-	<i>Yersinia pestis</i> (sólo cultivos)
6334	-	Virus del dengue (sólo cultivos)	6385		
6335	-	Virus de la encefalitis equina oriental (sólo cultivos)	6386		
6336	-	<i>Escherichia coli</i> verotoxigénico (sólo cultivos)	6387		
6337	-	Virus de Ebola	6388		
6338	-	Virus flexal	6389		
6339	-	<i>Francisella tularensis</i> (sólo cultivos)			
6340	-	Virus de Guanarito			
6341	-	Virus de Hantaan			
6342	-	Hantavirus que causan fiebre hemorrágica con síndrome renal			
6343	-	Virus de Hendra			
6344	-	Virus de la Hepatitis B (sólo cultivos)			
6345	-	Virus del herpes B (sólo cultivos)			
6346	-	Virus de la inmunodeficiencia humana (sólo cultivos)			
6347	-	Virus de la gripe aviar hiperpatógena (sólo cultivos)			
6348	-	Virus de la encefalitis japonesa (sólo cultivos)			
6349	-	Virus de Junin			
6350	-	Virus de la Enfermedad de la selva de Kyasanur			
6351	-	Virus de Lassa			
6352	-	Virus de Machupo			
6353	-	Virus de Marburgo			
6354	-	Virus de la viruela de los monos			
6355	-	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> (sólo cultivos)			
6356	-	Virus de Nipah			
6357	-	Virus de la fiebre hemorrágica de Omsk			
6358	-	Virus de la poliomielitis (sólo cultivos)			
6359	-	Virus de la Rabia (sólo cultivos)			
6360	-	<i>Rickettsia prowazekii</i> (sólo cultivos)			



6390 **16.7 BIBLIOGRAFÍA**

- 6391 1. CDC (Centro de Control y Prevención de Enfermedades). Departamento de Salud y Servicios Humanos. Servicio
6392 de Salud Pública. Bioseguridad en Laboratorios de Microbiología y Biomedicina. 4th Edition.
- 6393 2. Comisión de Salud Pública. Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud. Protocolos de Vigilancia
6394 Sanitaria Específica. Agentes Biológicos. Ed. Ministerio de Sanidad y Consumo. España. 2001.
- 6395 3. Farmacopea de los Estados Unidos de América. Formulario Nacional. USP 32 (1116) Evaluación microbiológica
6396 de cuartos limpios. 2009.
- 6397 4. ISO 14644-1. International Standard. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 1: Classification
6398 of air cleanliness. First edition.1999.
- 6399 5. ISO 14644-2. International Standard. Cleanrooms and associated controlled environments. Part 2: Specifications
6400 for testing and monitoring to prove continued compliance with ISO 14644-1. First edition 2000-09-15.
- 6401 6. MAPFRE Seguridad. Año 26 N° 103: 06-18. Tercer trimestre 2006.
- 6402 7. Ministerio de Salud. Reglamento sobre notificación de enfermedades transmisibles de declaración obligatoria.
6403 N° 158/04. Chile.
- 6404 8. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 203:
6405 Contaminantes biológicos: evaluación de ambientes laborales. España.
- 6406 9. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 299:
6407 Método para el recuento de bacterias y hongos en aire. España.
- 6408 10. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 571:
6409 Exposición a agentes biológicos: equipos de protección. España.
- 6410 11. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 585:
6411 Prevención del riesgo biológico en el laboratorio: trabajo con bacterias. España.
- 6412 12. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 608:
6413 Agentes biológicos: planificación de la medición. España.
- 6414 13. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 609:
6415 Agentes biológicos: equipos de muestreo (I). España.
- 6416 14. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. NTP 611:
6417 Agentes biológicos: análisis de las muestras. España.
- 6418 15. Organización Internacional del Trabajo (OIT). Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo. Volumen II.
6419 Capítulo 38: Riesgos Biológicos en el Lugar de Trabajo. EEUU. 2001.
- 6420 16. Organización mundial de la Salud (OMS). Manual de Bioseguridad en el Laboratorio. Tercera Edición. Ginebra.
6421 2005.
- 6422 17. Revista de Calidad Ambiental Interior en Hospitales y Salas de Ambiente Controlado. International Estándar
6423 Serial Number (ISSN) 2013-746X. Biotecnología Hospitalaria. Núm. 5, abril 2011.
- 6424 18. Revista de Calidad Ambiental Interior en Hospitales y Salas de Ambiente Controlado. International Estándar
6425 Serial Number (ISSN) 2013-746X. Biotecnología Hospitalaria. Núm. 6, junio 2011.
- 6426 19. Sanchez-Payá, J. Control de la bioseguridad ambiental. Revista Iberoamericana de Micología. ISBN. 84-607-3050-
6427 6. Asociación Española de Micología. 2001.
- 6428 20. U.S. Department of Justice. National Institute of Justice (NIJ). Law Enforcement and Corrections Standards and
6429 testing program. An introduction to Biological Agent detection Equipment for Emergency First Responders. NIJ
6430 Guide 101-00. December 2001

6431



6432 **CAPÍTULO XVII.**

6433 **INDICADORES BIOLÓGICOS**

6434

6435

6436 **17.1 INTRODUCCIÓN AL BIOMONITOREO DE LA EXPOSICIÓN QUÍMICA OCUPACIONAL.**

6437 El biomonitoreo es la medición y evaluación de agentes químicos laborales o sus metabolitos en diversos
6438 especímenes biológicos (tejidos, secreciones, excreciones y aire espirado), con el fin de evaluar la
6439 exposición y el riesgo para la salud. Su uso, comparado con una referencia apropiada, es una herramienta
6440 que permite evaluar la exposición de los trabajadores a agentes químicos a través del análisis de muestras
6441 biológicas, como sangre, orina y otras. Este enfoque proporciona una evaluación precisa de la carga
6442 química en el organismo. Sin embargo, su evaluación depende críticamente del momento del muestreo.
6443 Los procesos de absorción, distribución, metabolismo y excreción (ADME) determinan las concentraciones
6444 detectables de las sustancias en el cuerpo y si éstas alcanzan valores que representen un riesgo para la
6445 salud; los que, en el caso de trabajadores en Chile, están definidos en el D. S. N° 594/1999.

6446 Se entenderá como **exposición química** a “la cantidad de un agente ambiental que ha alcanzado al
6447 individuo (**dosis externa**) o que ha sido absorbida por el individuo (**dosis interna, dosis absorbida**)”, y la
6448 **ruta de exposición** como, “la forma en que un agente ingresa al organismo tras el contacto”.

6449 Las principales rutas de exposición son:

- 6450 • **Inhalación:** Absorción rápida (minutos a horas). Ejemplo: solventes volátiles como el tolueno alcanzan
6451 concentraciones plasmáticas máximas en menos de una hora.
- 6452 • **Absorción dérmica:** Absorción rápida (horas). Ejemplo: El metanol se absorbe por vía dérmica de
6453 forma rápida, aunque no tan rápida como la oral. Se estima que la absorción se completa en 2-3 horas.
- 6454 • **Ingestión:** Variable según la sustancia y las condiciones gastrointestinales.

6455 Tanto el momento del muestreo como la ruta de exposición son determinantes en la interpretación de los
6456 resultados del biomonitoreo, ya que influyen directamente en la cantidad y la forma en que una sustancia
6457 es absorbida, distribuida, metabolizada y excretada en el organismo.

6458 La **toxicocinética** determina estos procesos, definiendo la ventana de detección óptima para cada
6459 compuesto, mientras que la **toxicodinamia** define sus posibles efectos biológicos en función de la dosis
6460 interna. Una elección inadecuada del momento del muestreo o una mala identificación de la ruta de
6461 exposición pueden llevar a una subestimación o sobreestimación de la carga química en el organismo.

6462 El biomonitoreo no debe considerarse un sustituto de la evaluación ambiental, sino un complemento que
6463 extiende la evaluación a los medios biológicos del trabajador. Mientras que la evaluación ambiental mide
6464 contaminantes en el aire del lugar de trabajo, el control biológico evalúa la dosis interna en el organismo,
6465 proporcionando una perspectiva integral sobre el riesgo.

6466

6467 **17.2 GLOSARIO DE CONCEPTOS TOXICOLÓGICOS.**

6468 **ABSORCIÓN (BIOLÓGICA).** Proceso de entrada o transporte, activo o pasivo, de una sustancia al interior
6469 de un organismo; puede tener lugar a través de diferentes vías.

6470 **ACTIVACIÓN METABÓLICA.** Biotransformación de una sustancia, de toxicidad relativamente baja, en un
6471 derivado tóxico, activación, biotransformación, síntesis letal, bioactivación.



- 6472 **ACUMULACIÓN.** Sucesivas retenciones de una sustancia por un organismo diana, un órgano o una parte
6473 del medio ambiente, que conducen a un aumento de la cantidad o la concentración de la sustancia en los
6474 mismos. OMS, 1989.
- 6475 **ADME (ABSORCIÓN, DISTRIBUCIÓN, METABOLISMO Y EXCRECIÓN).** Este acrónimo indica los cuatro
6476 procesos clave que describen cómo las toxinas entran en el organismo, se distribuyen, se metabolizan y
6477 eliminan.
- 6478 **AGENTE QUÍMICO.** Todo elemento o compuesto químico, por sí solo o mezclado, tal como se presenta en
6479 estado natural o que es producido, utilizado o vertido, incluido el vertido como residuo, en una actividad
6480 laboral, se haya elaborado o no de modo intencional y se haya comercializado o no. Real Decreto
6481 374/2001, de 6 de abril.
- 6482 **AGUDO.** Exposiciones o efectos a corto plazo. 1) En toxicología experimental, estudios de corta duración,
6483 normalmente de 24 h, o de dos semanas o menos, iniciados por la administración de una dosis única. 2)
6484 En clínica médica, patología súbita y grave con curso rápido.
- 6485 **BIOACUMULACIÓN.** Incremento progresivo de la cantidad de una sustancia en un organismo o parte de
6486 un organismo, que ocurre porque la velocidad de captación excede la de eliminación, bioconcentración,
6487 biomagnificación.
- 6488 **BIOCONCENTRACIÓN.** Proceso por el cual una sustancia alcanza en un organismo una concentración más
6489 alta que la que tiene en el ambiente a que está expuesto, bioacumulación, biomagnificación. WHO, 1979.
- 6490 **BIODISPONIBILIDAD.** Proporción de la dosis que una sustancia absorbida, por cualquier vía, alcanza en la
6491 circulación sistémica.
- 6492 **BIOENSAYO.** Procedimiento para estimar la concentración o actividad biológica de una sustancia midiendo
6493 su efecto sobre un sistema vivo.
- 6494 **BIOINDICADOR.** Especie o grupo de especies representativas y típicas de un estado específico de un
6495 ecosistema, que aparece con una frecuencia suficiente para emplearse para monitorización y cuya
6496 población muestra una respuesta sensible a los cambios.
- 6497 **BIOMARCADOR.** (1) Parámetro que puede utilizarse para identificar un efecto tóxico en un organismo, y
6498 puede permitir la extrapolación interespecies. (2) Indicador que señala un acontecimiento o una situación
6499 en una muestra o sistema biológico y proporciona una medida de la exposición, el efecto o la
6500 susceptibilidad, bioindicador.
- 6501 **CADENA DE CUSTODIA.** Secuencia de responsabilidades para la transferencia de una sustancia entre todas
6502 las personas implicadas desde su origen hasta su eliminación. Se aplica especialmente a las transmisiones
6503 que experimenta una muestra, desde su recogida hasta el análisis, especialmente cuando éste tiene fines
6504 legales o forenses.
- 6505 **CARCINÓGENO.** Agente físico, químico o biológico capaz de incrementar la incidencia de neoplasias
6506 malignas. sin. cancerígeno. IARC, 1987.
- 6507 **CITOCROMO P-450.** Hemoproteínas que forman la mayor parte de los enzimas que realizan las Mono
6508 oxigenaciones bioquímicas. El término abarca un gran número de isoenzimas que son codificadas por una
6509 superfamilia de genes. Monooxigenasa, oxidasas de función mixta, reacciones fase 1. Guengerich, 1988.
- 6510 **CONCENTRACIÓN.** Cantidad de una sustancia, expresada en peso o en moles (S), por unidad de peso o
6511 volumen del medio en que se encuentra ($C = S/kg$; $C = S/L$). Puede expresarse como porcentaje (riqueza).
6512 No es sinónimo de dosis.



- 6513 **CONCENTRACIÓN LETAL (CL).** Proporción de una sustancia tóxica en un medio, que causa la muerte
6514 después de un cierto período de exposición. OMS, 1979. Concentración efectiva, dosis letal.
- 6515 **CONCENTRACIÓN MEDIA PONDERADA EN EL TIEMPO O VALORES DE EXPOSICIÓN DIARIA (VLA-ED, TLV-
6516 TWA).** Es el valor límite establecido para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral
6517 de 40 horas, al que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin
6518 manifestar efectos adversos. ACGIH, 1993. Media ponderada en el tiempo.
- 6519 **DIANA (BIOLÓGICA).** Población, organismo, órgano, tejido, célula o constituyente celular sobre el que
6520 ejerce su acción un agente físico, químico o biológico. OMS, 1979. Receptor.
- 6521 **DOSIS.** Cantidad de sustancia administrada o absorbida por un individuo en proporción a su peso o
6522 volumen corporal, ordinariamente en 24 horas. Se suele expresar en mg/kg. (ver. esp.)
- 6523 **DOSIS EFECTIVA (DE).** Dosis de una sustancia que origina un efecto definido en un sistema dado; la DE-50
6524 es la dosis que causa el 50 por 100 del efecto máximo. Dosis, dosis letal, DL-50.
- 6525 **DOSIS LETAL MEDIA (DL50).** Dosis, calculada estadísticamente, un agente químico o físico (radiación) que
6526 se espera que provoque la muerte al 50 por 100 de los organismos de una población bajo un conjunto de
6527 condiciones definidas.
- 6528 **DOSIS TÓXICA.** Proporción de una sustancia que produce intoxicación sin que llegue a ser letal.
- 6529 **EFFECTO SISTÉMICO.** De carácter generalizado o que ocurre en distinto lugar de aquel por el que el agente
6530 penetró en el cuerpo. Requiere la absorción y distribución del tóxico por el cuerpo. Efecto local.
- 6531 **EFFECTO SUBCLÍNICO.** Cambio biológico consecuente a la exposición a un agente patógeno, antes de que
6532 aparezcan los síntomas de la enfermedad.
- 6533 **EFFECTO SUBCRÓNICO.** Cambio biológico resultante de una exposición durante el 10 por 100 del periodo
6534 de vida del organismo estudiado; en experimentación animal con roedores se estima este periodo como
6535 de tres meses (90 días). Efecto subagudo. Toxicidad subcrónica.
- 6536 **ELIMINACIÓN.** Resultado global de los procesos de biotransformación y de excreción por los que el
6537 organismo se libera de las sustancias. Aclaramiento, biotransformación, excreción.
- 6538 **ENSAYOS.** 1. En Toxicología analítica: análisis cualitativo o cuantitativo por aplicación de métodos
6539 establecidos y la comparación de los resultados con estándares previstos. 2. En Toxicología experimental:
6540 evaluación de los efectos tóxicos potenciales de las sustancias mediante su aplicación, a diferentes dosis,
6541 a organismos apropiados o sistemas biológicos por vías adecuadas de exposición o administración.
6542 Bioensayo.
- 6543 **ESPECIFICIDAD.** manifestación de la afinidad de dos moléculas químicas o una química y otra biológica
6544 (receptor) que, cuando se emparejan, provocan siempre el mismo efecto (especificidad de unión y de
6545 acción).
- 6546 **ESTÁNDAR.** 1. Aquello que se establece como modelo o unidad para otros de similar naturaleza. 2.
6547 Especificación (conjunto de características) técnica, generalmente en forma de documento accesible,
6548 establecida con el consenso o general aprobación de todos los interesados, y basada en resultados
6549 consolidados de carácter científico, técnico o experimental, al objeto de obtener los beneficios óptimos y
6550 aprobada por un organismo reconocido de carácter nacional, regional o internacional. sin. directriz
6551 técnica. 3. Sustancia de referencia con fines analíticos. sin. Material estándar.
- 6552 **ESTÁNDAR DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL (OES, EN INGLÉS).** 1. Nivel de exposición a sustancias,
6553 intensidad de una radiación, etc., u otra condición que se considera que representa un código específico

6554 de buenas prácticas y es un criterio realista para el control de la exposición mediante un diseño adecuado
6555 de la planta, controles técnicos y si, es necesario, añadir el uso de ropa protectora. 2. En Gran Bretaña,
6556 límite de exposición definido por las Normas de la *Control of Substances Hazardous to Health* (COSHH)
6557 como la concentración de una sustancia en el aire, ponderada respecto al tiempo, a la que, de acuerdo
6558 con los conocimientos actuales, no hay evidencia de que se pueda producir un daño a los trabajadores, si
6559 se exponen a la inhalación diaria de dicha concentración, y fijada bajo consejo del Comité de
6560 Asesoramiento sobre sustancias tóxicas del *Health and Safety Executive* (HSE).

6561 **ESTUDIOS LONGITUDINALES.** Un estudio longitudinal es un tipo de investigación que evalúa un mismo
6562 grupo de sujetos durante un periodo prolongado. A diferencia de los estudios transversales, que capturan
6563 información en un solo momento, los estudios longitudinales permiten observar la evolución de
6564 fenómenos a lo largo del tiempo. Esto se logra mediante la recopilación de datos en múltiples intervalos,
6565 lo que facilita el análisis de cambios y patrones en las variables estudiadas.

6566 **EXACTITUD.** Diferencia entre la media de un conjunto de resultados, o un resultado individual, y el valor
6567 que se acepta como correcto o verdadero para la cantidad medida. Precisión.

6568 **EXCRECIÓN.** Eliminación de sustancias endógenas o absorbidas, o de sus metabolitos o productos de
6569 desecho, a través de los órganos del cuerpo, y por medio de orina, bilis, heces, sudor, leche, aliento, pelos,
6570 uñas, etc. Los órganos principales de excreción son riñón y tubo digestivo. Aclaramiento, eliminación.

6571 **EXPOSICIÓN.** 1) Situación en la cual una sustancia puede incidir, por cualquier vía, sobre una población,
6572 organismo, individuo, órgano, tejido o célula diana (ver. esp.) 2) Concentración, cantidad o intensidad de
6573 un determinado agente físico, químico o biológico, que incide sobre una población, organismo, individuo,
6574 órgano o célula diana; usualmente se expresa en términos cuantitativos de concentración, duración y
6575 frecuencia (para agentes químicos y microbiológicos) o de intensidad (para agentes físicos). Tiempo de
6576 exposición, límites de exposición.

6577 **EXPOSICIÓN, EVALUACIÓN BIOLÓGICA DE LA.** (1) Medida de la exposición a una sustancia mediante el
6578 análisis de muestras biológicas de sujetos expuestos, o de alimentos, plantas, animales o material biológico
6579 del aire, la tierra o el agua. (2) Cambios bioquímicos, fisiológicos o anatómicos en organismos expuestos
6580 que puedan correlacionarse con la exposición. Monitorización biológica

6581 **EXPOSICIÓN CRÓNICA.** Exposición continua durante un largo periodo o una fracción significativa del
6582 tiempo de vida de los individuos considerados. Exposición aguda.

6583 **EXPOSICIÓN, RUTA (VÍA) DE.** Medio por el que un tóxico accede a un organismo sea a través del tracto
6584 gastrointestinal o vía digestiva o enteral (ingestión), del tracto respiratorio o vía respiratoria o pulmonar
6585 (inhalación), a través de la piel o vía dérmica o cutánea (tópica), o mediante introducción o inyección por
6586 las vías intravenosa, subcutánea, intramuscular o intraperitoneal.

6587 **HIGIENE OCUPACIONAL.** Identificación, valoración y control de los agentes fisicoquímicos y biológicos que,
6588 en el ambiente de trabajo pueden afectar a la salud o bienestar de los empleados y a la vecindad.

6589 **INCERTIDUMBRE, FACTOR DE.** (1) En metodología analítica, intervalo de confianza o límite de fiabilidad
6590 utilizado para valorar la probable precisión de una medida. (2) En toxicología, valor utilizado en la
6591 extrapolación de los datos obtenidos con animales de experimentación al hombre (asumiendo que el
6592 hombre sea más sensible) o de un grupo de individuos a la población general: por ejemplo, valor aplicado
6593 al nivel sin efecto observable (NOEL) o al nivel sin efecto adverso observable (NOAEL) para deducir una
6594 ingesta diaria admisible o una dosis de referencia (el NOEL o NOAEL se divide por el valor del factor para
6595 calcular el IDA o la dosis de referencia, RfD). El valor del factor depende de la naturaleza del efecto tóxico,
6596 tamaño y tipo de población a proteger, y de la calidad de la información toxicológica disponible. sin. factor



6597 de seguridad. Factor de modificación, nivel sin efecto observable, nivel sin efecto adverso observable,
6598 dosis de referencia.

6599 **INDICADORES BIOLÓGICOS:** indicador Biológico es un término genérico que identifica al agente y/o sus
6600 metabolitos, o los efectos provocados por los agentes en el organismo. Los indicadores biológicos se
6601 pueden clasificar en Indicadores de exposición, Indicadores de efecto e Indicadores de susceptibilidad.

6602 **INDICADORES BIOLÓGICOS DE EXPOSICIÓN:** Los indicadores biológicos de Exposición, cuyo sinónimo es
6603 indicador Biológico de dosis linterna, es una expresión que señala la cantidad de agente químico absorbida
6604 por el organismo e indica los niveles o concentraciones de una sustancia o sus metabolitos en tejidos,
6605 fluido o aire espirado. Los indicadores biológicos de Exposición se usan para valorar la exposición total a
6606 compuestos químicos en los ambientes de trabajo. Estos no permiten formular diagnósticos de
6607 enfermedad. Los indicadores biológicos de exposición son valores de referencia para la cuantificación del
6608 riesgo potencial para la salud. Estos valores reflejan exposiciones de ocho horas durante cinco días a la
6609 semana. Los parámetros que se utilizan para obtener indicadores biológicos de Exposición son:

- 6610 a. La concentración del agente inalterado en diversos medios biológicos (sangre, orina, aire espirado)
- 6611 b. La concentración de productos metabólicos del agente en fluidos biológicos.

6612 **INDICADORES BIOLÓGICOS DE EFECTO:** Es una expresión que señala o advierte sobre la presencia de un
6613 daño; corresponde a alteraciones bioquímicas y/o fisiológicas y/o morfológicas que permiten detectar
6614 algún daño temporal o permanente.

6615 Las alteraciones detectadas pueden corresponder a la fase preclínico o clínica de la evolución de la
6616 enfermedad, por lo tanto, son elementos que permiten formular diagnóstico de enfermedad.

6617 Los parámetros de medición de los indicadores biológicos de Efecto son:

- 6618 a. Metabolitos propios del organismo alterado por acción de un agente tóxico.
- 6619 b. Inhibición de enzimas que regulan los procesos metabólicos normales.
- 6620 c. Alteraciones funcionales y/o morfológicas de órganos o sistemas.

6621 **INHALACIÓN.** Entrada en las vías respiratorias de aire, vapor, gas o partículas suspendidas en ellos.

6622 **INTOXICACIÓN.** Proceso patológico, con signos y síntomas clínicos, causado por una sustancia de origen
6623 exógeno o endógeno.

6624 **ÍNDICES BIOLÓGICOS DE EXPOSICIÓN (IBE).** Son parámetros actualmente utilizados para poner de
6625 manifiesto la absorción o acumulación de un xenobiótico por un ser vivo; pueden servir como criterios
6626 para valorar el grado de afectación. Se definen como la expresión numérica de un parámetro biológico en
6627 relación con la incidencia de un xenobiótico sobre la salud del individuo. Normativas de distinto rango
6628 pueden establecer los IBE como valores límites biológicos (BLV o BTL). Hay varios tipos de IBE; químicos,
6629 bioquímicos, funcionales, histológicos.

6630 **LÍMITE DE EXPOSICIÓN OCUPACIONAL (OEL, EN INGLÉS).** Nivel legislado que puede alcanzar la exposición
6631 a una sustancia, intensidad de una radiación, o cualquier otra condición, especificado apropiadamente en
6632 la legislación o relacionado con los códigos de buenas prácticas.

6633 **LÍMITE DE EXPOSICIÓN PERMISIBLE (PEL, EN INGLÉS).** Recomendación de la OSHA (USA) para la
6634 concentración TWA que no debe sobrepasarse en una jornada laboral de 8 horas en una semana laboral
6635 de 40 horas. Concentración máxima permisible, valor umbral límite, concentración media ponderada en
6636 el tiempo (TWAC), límite de exposición.



- 6637 **LÍMITES DE TOLERANCIA BIOLÓGICA:** Es el valor de referencia que indica la concentración límite máxima
6638 tolerable del indicador biológico sobre la cual la probabilidad de ocurrencia de enfermedad es mayor.
- 6639 **LÍMITE MÁXIMO DE EXPOSICIÓN (MEL, EN INGLÉS).** Valor definido en la legislación británica como
6640 concentración máxima de una sustancia contenida en el aire, ponderada respecto al tiempo, a cuya
6641 inhalación no deben quedar expuestos los trabajadores bajo ninguna circunstancia. Se establece de
6642 acuerdo con el consejo del Comité de Asesoramiento para Sustancias Tóxicas de la Comisión para la Salud
6643 y el Bienestar (HSC).
- 6644 **MARGEN DE EXPOSICIÓN (MOE, EN INGLÉS), MARGEN DE SEGURIDAD (MOS, EN INGLÉS).** Relación entre
6645 el nivel sin efecto adverso observable (NOAEL, en inglés) y la dosis o concentración teórica o estimada.
6646 Índice terapéutico.
- 6647 **MATERIAL DE REFERENCIA CERTIFICADO.** Materia proporcionada por un organismo como un Centro
6648 Internacional de Estándares o un Laboratorio de Metrología u otro nacional o internacional que garantiza
6649 su pureza o valores analíticos (por procedimientos validados técnicamente) y que, además, proporciona
6650 una certificación que detalla la información más relevante. Material de referencia, patrones.
- 6651 **MÁXIMA CONCENTRACIÓN ADMISIBLE (ACEPTABLE O PERMISIBLE) (MAC, EN INGLÉS).** Concentración
6652 máxima aceptable a la que una persona puede exponerse durante cierto tiempo. Es la concentración que
6653 si es inhalada diariamente (en el caso de personas que trabajan 8 horas, cinco días a la semana, o durante
6654 24 horas en caso de la población general), y que según los conocimientos actuales no parecen inducir daño
6655 apreciable ni durante la vida laboral, ni posteriormente, ni en siguientes generaciones. Límite permisible
6656 de exposición, valor umbral límite (TLV).
- 6657 **METABOLISMO.** Suma de todos los procesos químicos y físicos que tienen lugar en un organismo; en
6658 sentido más estricto, cambios físicos y químicos que sufre una sustancia en un organismo. Incluye la
6659 incorporación y distribución en el organismo de los componentes químicos, los cambios
6660 (biotransformaciones sufridas) y la eliminación de los compuestos y de sus metabolitos. WHO, 1989a.
6661 Biotransformación
- 6662 **METABOLITO.** Cualquier producto intermedio o final resultante del metabolismo. Biotransformación.
- 6663 **MONITOREO BIOLÓGICO:** El Monitoreo Biológico consiste en la identificación, cuantificación y evaluación
6664 sistemática de la “exposición interna del organismo” (dosis interna) a los agentes químicos en muestras
6665 biológicas. El Monitoreo Biológico es una actividad médica preventiva cuyo desarrollo lleva
6666 necesariamente a establecer actividades para detectar efectos adversos.
- 6667 **MONITORIZACIÓN BIOLÓGICA.** Valoración continua o repetida de sustancias potencialmente tóxicas o de
6668 sus metabolitos, o de sus efectos en tejidos, secreciones, excreciones, aire espirado o cualquiera de sus
6669 combinaciones, con el objeto de evaluar la exposición ambiental u ocupacional y su riesgo para la salud,
6670 por comparación con apropiados valores de referencia. Monitorización del efecto biológico.
6671 Monitorización ambiental. Evaluación biológica de la exposición.
- 6672 **MONITORIZACIÓN DEL EFECTO BIOLÓGICO (BEM, EN INGLÉS).** Medición continua, repetida o sistemática
6673 de los primeros efectos biológicos derivados de la exposición a una sustancia, para evaluar el riesgo para
6674 la salud por comparación con valores de referencia basados en el conocimiento de la probable relación
6675 entre la exposición ambiental y los efectos biológicos. Monitorización biológica, monitorización ambiental.
- 6676 **MUESTRA.** 1) Porción de material seleccionada de una cantidad mayor de forma que la fracción elegida
6677 sea representativa del todo. De ser posible, el todo debe ser homogeneizado, antes de la toma. 2) En
6678 estadística: grupo de individuos tomados al azar de una población, a efectos de investigación. 3) Uno o



- 6679 más ejemplares tomados de una población o de un proceso con la intención de obtener información de
6680 los mismos. Muestra al azar, muestra aleatoria, muestra estratificada, muestra sistemática.
- 6681 **NIVEL SIN EFECTO OBSERVABLE (NOEL, EN INGLÉS).** La mayor concentración o cantidad de una sustancia,
6682 hallada experimentalmente o por observación, que no causa alteraciones en la morfología, capacidad
6683 funcional, crecimiento, desarrollo o duración de la vida de los organismos diana, distinguibles de los
6684 observados en organismos normales (control) de la misma especie y cepa, bajo condiciones idénticas a las
6685 de exposición. Efecto adverso.
- 6686 **PELIGRO.** Posibilidad de que un agente produzca efectos dañinos, a causa de sus propiedades específicas
6687 y de las circunstancias y grado de la exposición. En otras palabras, un agente peligroso es una fuente de
6688 daño. Riesgo.
- 6689 **POBLACIÓN.** 1) En estadística, la totalidad de unidades consideradas. Una parte definida de una población
6690 se denomina subpoblación. En el caso de una variable aleatoria, se considera que la distribución de
6691 probabilidades define la población de esa variable. El término segmento de población se utiliza a veces
6692 como sinónimo de población. OMS, 1989a. 2) En ecología: conjunto de individuos de la misma especie que
6693 viven en la misma área geográfica.
- 6694 **POBLACIÓN EN RIESGO.** Grupo de personas que pueden desarrollar un efecto adverso y que están
6695 potencialmente expuestas a un factor de riesgo determinado. Aquellas personas que ya han desarrollado
6696 la enfermedad se excluyen en los estudios de incidencia.
- 6697 **PUESTO DE TRABAJO:** (1) Conjunto de tareas y deberes desempeñados, o destinados a ser realizados, por
6698 una sola persona, incluso para un empleador o trabajador por cuenta propia” (OIT, 2012). En definitiva,
6699 son las tareas y deberes que realiza un trabajador para cumplir con aquello que se ha comprometido a
6700 realizar (usualmente estipulado en un contrato) o, en el caso de los empleadores y trabajadores por cuenta
6701 propia, son las tareas que se requieren para llevar a cabo su actividad (CIUO 08.CL. Clasificador Chileno de
6702 Ocupaciones). (2) Con este término se hace referencia tanto al conjunto de actividades que están
6703 encomendadas a un trabajador concreto como al espacio físico en que éste desarrolla su trabajo. (Directiva
6704 93/24/CE del Consejo de 7/4/98 DOL 131 de 5/5/98 p 11)”.
6705
6706 **RECEPTOR.** Biomolécula diferenciada o sitio de unión con afinidad por un determinado tóxico, de cuya
6707 unión se derivará un efecto. Diana, órgano diana. (ver. esp.)
- 6707 **RIESGO.** Probabilidad de que se produzcan efectos adversos o daños por exposición a un agente tóxico, a
6708 causa de las propiedades inherentes del mismo y a las circunstancias o grados de la exposición. Peligro.
- 6709 **SEGURIDAD.** Inversa del riesgo; práctica certeza de que, en condiciones definidas, no se derivará daño de
6710 un peligro. 1) En farmacología: garantía de que puede utilizarse una sustancia, en la cantidad necesaria y
6711 para un determinado propósito, con mínimo riesgo para la salud. 2) En toxicología: elevada probabilidad
6712 de que la exposición a una sustancia, en condiciones definidas de cantidad y forma, que minimicen la
6713 exposición, no producirá daño. t. real. certidumbre práctica, riesgo.
- 6714 **SEGURIDAD QUÍMICA.** Garantía práctica de que los organismos no están expuestos a cantidades tóxicas
6715 de sustancias químicas; esto implica conseguir un riesgo aceptablemente bajo de exposición a sustancias
6716 potencialmente tóxicas.
- 6717 **SIGNO.** Evidencia objetiva de una afección o enfermedad, perceptible por un observador (hipertensión,
6718 sibilancias, ECG). Es el síntoma objetivado por el médico.
- 6719 **SÍNDROME.** Conjunto de signos y síntomas que caracterizan a una determinada enfermedad.
- 6720 **SÍNTOMA.** Evidencia subjetiva de una afección o enfermedad, percibida por el propio sujeto que la



6721 sufre (por ejemplo, náuseas, dolor, jaqueca). Signo.

6722 **SISTÉMICO.** Relativo al cuerpo entero como una unidad. techo, valor límite umbral (TLV-C). Concentración
6723 que no se debe sobrepasar en ningún momento durante la exposición en el trabajo.

6724 **TASA DE SOBREEXPOSICIÓN GENERAL.** Corresponde a un cociente entre el número de sobreexpuestos al
6725 agente y el total de trabajadores expuestos en la empresa y/o local de trabajo, multiplicado por cien:

$$\text{Tasa de Sobreexposición General} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ Trabajadores Sobreexpuestos}}{\text{Total de Trabajadores Expuestos}} \times 100$$

6726
6727 **TASA DE SOBREEXPOSICIÓN POR PUESTO DE TRABAJO:** Corresponde a un cociente entre el número de
6728 trabajadores sobreexpuestos a un agente en un puesto de trabajo y el total de trabajadores expuestos en
6729 ese puesto de trabajo al mismo agente, multiplicado por cien.

$$\text{Tasa de Sobreexposición por Puesto de Trabajo} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ Trabajadores Sobreexpuestos por Puesto de Trabajo}}{\text{Total de Trabajadores Expuestos por Puesto de Trabajo}} \times 100$$

6730
6731 **TOLERANCIA.** 1. Capacidad de un organismo para experimentar exposición a dosis nocivas de una
6732 sustancia sin sufrir efectos adversos. 2. Capacidad de un organismo para sobrevivir en presencia de una
6733 sustancia tóxica: se puede adquirir aumento de la tolerancia por adaptación a exposición constante o
6734 incrementada. 3. Estado adaptativo caracterizado por disminución de los efectos de determinadas dosis
6735 de una sustancia; tiene interés en terapéutica, drogadicción, toxicología alimentaria, ocupacional y
6736 ambiental. 4. En inmunología: estado de falta de respuesta inmunitaria.

6737 **TOXICIDAD.** Capacidad para producir daño a un organismo vivo, en relación con la cantidad o dosis de
6738 sustancia administrada o absorbida, la vía de administración y su distribución en el tiempo (dosis única o
6739 repetidas), tipo y gravedad del daño, tiempo necesario para producir éste, la naturaleza del organismo
6740 afectado y otras condiciones intervinientes.

6741 **TOXICIDAD AGUDA.** Capacidad de una sustancia para producir efectos adversos dentro de un corto plazo
6742 de tiempo (usualmente 24 horas, pero se admite hasta 14 días) después de la administración de una dosis
6743 única (o una exposición dada) o tras dosis o exposiciones múltiples en 24 h. Efecto agudo.

6744 **TOXICIDAD CRÓNICA.** Capacidad de una sustancia para producir efectos adversos consecuentes a una
6745 exposición prolongada; éstos pueden aparecer durante o después de interrumpida la exposición. Ensayo
6746 de toxicidad crónica.

6747 **TOXICIDAD SUBCRÓNICA.** 1. Efectos adversos ocasionados por administración o exposición repetida de
6748 una sustancia durante un corto periodo de tiempo, usualmente el 10 por 100 de la vida (al menos 90 días
6749 en animales). 2. Capacidad para producir efectos adversos tras exposición subcrónica. Ensayos de toxicidad
6750 subcrónica.

6751 **TÓXICO.** Sustancia o agente físico que, actuando en muy pequeña cantidad, es capaz de producir efectos
6752 adversos sobre los organismos vivos.

6753 **TOXICOCINÉTICA.** Expresión en términos matemáticos de los procesos que experimenta una sustancia
6754 tóxica en su tránsito por el cuerpo (captación, absorción, distribución, biotransformación y eliminación).
6755 Considera la velocidad de los procesos y las variaciones de las concentraciones de las sustancias originales
6756 y de sus metabolitos en los compartimientos. El término farmacodinamia, tenido como sinónimo se ha



6757 concretado a los productos de interés medicamentoso; además existen diferencias entre farmacodinamia
6758 y toxicodinámica por la orientación y finalidad de los estudios y las distintas dosis y características de las
6759 sustancias que se consideran.

6760 **TOXICODINÁMICA.** Proceso de interacción de una sustancia tóxica con los lugares diana, y las
6761 consecuencias bioquímicas y fisiopatológicas que conducen a los efectos tóxicos. Toxicocinética

6762 **TOXICOLOGÍA.** Ciencia que estudia las sustancias químicas y los fenómenos físicos en cuanto son capaces
6763 de producir alteraciones patológicas a los seres vivos, a la vez que estudia los mecanismos de producción
6764 de tales alteraciones y los medios para contrarrestarlas, así como los procedimientos para detectar,
6765 identificar y determinar tales agentes y valorar y prevenir el riesgo que representan.

6766 **TOXICOVIGILANCIA.** Proceso activo de identificación, investigación y evaluación de efectos tóxicos que
6767 aparezcan sobre la población, con el objetivo de tomar medidas para reducir o controlar la exposición a
6768 las sustancias que los produzcan.

6769 **TOXINA.** Sustancia venenosa de origen biológico, producida por un organismo inferior o superior del reino
6770 animal o vegetal. El término inglés toxin no es traducible por toxina sino por tóxico, de significado más
6771 amplio. Tóxico, veneno.

6772 **TRABAJADOR EXPUESTO:** Es aquel que presenta concentraciones del agente químico y/o de sus
6773 metabolitos, en sangre y/u orina inferior a los Límites de Tolerancia Biológica y superiores a los valores
6774 poblacionales.

6775 **TRABAJADOR NO EXPUESTO:** Es aquel trabajador que no entra en contacto con el o los agentes químicos.
6776 Los valores de sus indicadores biológicos corresponden a los de la población general.

6777 **TRABAJADOR SOBREEXPUESTO:** Es aquel que presenta concentraciones del agente químico y/o de sus
6778 metabolitos, en sangre y/u orina, superiores a los Límites de Tolerancia Biológica.

6779 **VALOR UMBRAL LIMITE (TLV, THRESHOLD LIMIT VALUE).** Se refiere a niveles permisibles de agentes
6780 químicos o físicos en el ambiente laboral, propuestos por la American Conference of Governmental
6781 Industrial Hygienists (ACGIH, EE UU. 1993). Actualmente incluye tres tipos de umbrales o valores límites
6782 ambientales:

6783 a. VLA-ED (TLV-TWA): Valores de Exposición Diaria o media ponderada en el tiempo. Concentración
6784 media a que puede estar expuesto un trabajador durante 8 horas diarias o 40 horas a la semana,
6785 sin sufrir efectos adversos.

6786 b. TLV-C: Valor techo (ceiling). Concentración ambiental que no debe ser sobrepasada en ningún
6787 momento.

6788 c. VLA-EC (TLV-STEL): Límite de Exposición de Corta Duración. Valores límites para cortos periodos
6789 de tiempo (15 minutos), sin que exceda el TWA diario, y sin que se repita más de cuatro veces al
6790 día ni con menor intervalo de una hora.

6791 **VALORES GUÍA.** Valores cuantitativos (en concentración o en número) de un constituyente ambiental o
6792 biológico, cuya no superación asegura una agradable calidad del aire, agua o alimentos y de los que no se
6793 deriva un riesgo significativo para el usuario.

6794 **VENENO.** 1) Toxina animal utilizada para autodefensa o depredación y liberada normalmente por
6795 mordedura o picadura. 2) Tóxico usado intencionadamente. Toxina, tóxico.

6796 **VIDA MEDIA, TIEMPO MEDIO (T1/2).** Tiempo en el cual la concentración de una sustancia se reduce a la
6797 mitad, asumiendo un proceso de eliminación de primer orden.



6798 **XENOBIÓTICO.** En sentido estricto, cualquier sustancia que interactúa con un organismo y que no es uno
6799 de sus componentes naturales. sin. Sustancia exógena, sustancia extraña.

6800 **ZONA DE RESPIRACIÓN:** (1) El espacio alrededor de la cara del trabajador del que éste toma el aire que
6801 respira. (2) Con fines técnicos, una definición más precisa es la siguiente: semiesfera de 0,3 m de radio que
6802 se extiende por delante de la cara del trabajador, cuyo centro se localiza en el punto medio del segmento
6803 imaginario que une ambos oídos y cuya base está constituida por el plano que contiene dicho segmento,
6804 la parte más de la cabeza y la laringe. (EN 1540 Workplace atmospheres Terminology).

6805

6806 **17.3 MONITOREO BIOLÓGICO DE LA EXPOSICION A AGENTES QUÍMICOS OCUPACIONALES.**

6807 **17.3.1 OBJETIVO**

6808 El objetivo primordial es definir el grado de exposición de las personas trabajadoras a sustancias químicas
6809 de uso industrial para implementar medidas de prevención médica, protección personal y control
6810 ambiental. Además, para:

- 6811 a. Detectar personas sometidas a exposiciones excesivas antes de que ocurran efectos adversos para
6812 la salud.
- 6813 b. Confirmar o definir que las exposiciones actuales o pasadas sean “seguras” (no conllevan una
6814 probabilidad de alteración inaceptable de la salud).
- 6815 c. Incorporar a las personas trabajadoras expuestas y/o sobreexpuestas a actividades de vigilancia
6816 sobre los efectos adversos.
- 6817 d. Definir la tasa de personas trabajadoras sobreexpuestas a diferentes agentes químicos.
- 6818 e. Definir la efectividad biológica de las medidas de control ambiental y de protección personal
6819 adoptadas.

6820 **17.3.2 FUNDAMENTOS TOXICOLÓGICOS DEL MONITOREO BIOLÓGICO**

6821 La toxicocinética estudia cómo el organismo procesa una sustancia química (ADME), mientras que la
6822 toxicodinamia analiza sus efectos biológicos. Ambos son esenciales para determinar el momento y la
6823 frecuencia del muestreo, así como para interpretar los resultados. Para comprender cómo estos procesos
6824 influyen en el biomonitorio, es necesario analizar primero cómo las sustancias ingresan y se distribuyen
6825 en el organismo.

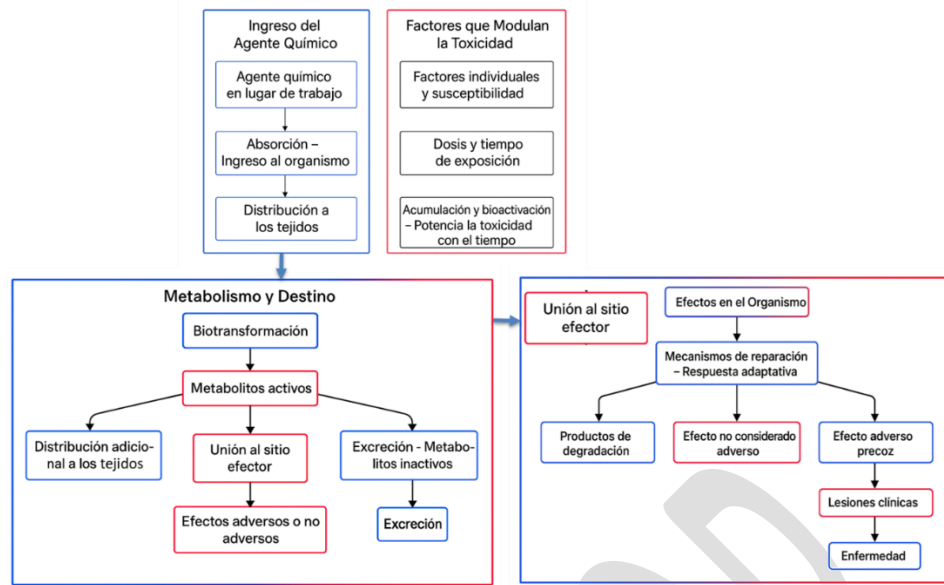
6826

6827 **17.3.2.1 Absorción, distribución y factores individuales**

6828 La vía de exposición a una sustancia determina la velocidad de absorción y, consecuentemente, el
6829 momento óptimo de muestreo. En exposiciones por inhalación, la absorción suele ser rápida, mientras
6830 que en exposiciones dérmicas puede ser más gradual.

6831

6832 *Figura 17-1. Destino toxicológico y acción en el sitio blanco (ADME).*



6833

6834 Una vez que las sustancias han sido absorbidas por el organismo, éstas se someten a procesos de
 6835 biotransformación y eliminación, lo cual pone de manifiesto la importancia de considerar tanto el
 6836 metabolismo como la vida media de estas sustancias para planificar adecuadamente el muestreo.

6837

6838 17.3.2.2 Metabolismo y Eliminación.

6839 El metabolismo transforma las sustancias químicas en metabolitos que pueden ser más o menos tóxicos,
 6840 mientras que la vida media (tiempo necesario para que la concentración de la sustancia se reduzca a la
 6841 mitad) determina la ventana de detección.

6842 Para una adecuada caracterización de la exposición, es crucial considerar tanto el compuesto original como
 6843 sus metabolitos, ya que estos últimos a menudo presentan vidas medias más prolongadas y ofrecen una
 6844 imagen más integral de la dosis absorbida.

6845 A continuación, se presenta un ejemplo ilustrativo:

6846 *Exposición a Benceno*

6847 *Los trabajadores están expuestos a benceno a través de diversas fuentes, principalmente a*
 6848 *procesos industriales que involucran la combustión de carbón y petróleo, emisiones de vehículos*
 6849 *de motor a combustión, la evaporación de gasolina en estaciones de servicio y el humo de tabaco.*
 6850 *La medición del benceno en su forma no metabolizada resulta inadecuada como biomarcador de*
 6851 *exposición biológica debido a las siguientes razones:*

- 6852 ➤ *Vida media breve: Su rápida metabolización dificulta la obtención de mediciones*
 6853 *representativas de la exposición real.*
- 6854 ➤ *Inadecuada representación del riesgo: No refleja la fracción metabolizada del benceno, que es*
 6855 *la responsable de su toxicidad, por lo que no permite evaluar con precisión el riesgo para la*
 6856 *salud.*

6857 *Uno de sus metabolitos es el ácido t,t'-mucónico, que se utiliza como biomarcador de la exposición*
 6858 *al benceno. Su estabilidad en el organismo permite la detección en muestras de orina. Es*
 6859 *importante tener en cuenta que, además de la exposición ocupacional al benceno, la presencia de*

6860 sorbatos (por ejemplo, el ácido sórbico, empleado como conservante en alimentos) puede
6861 contribuir a los niveles detectados de ácido t,t'-mucónico.

6862

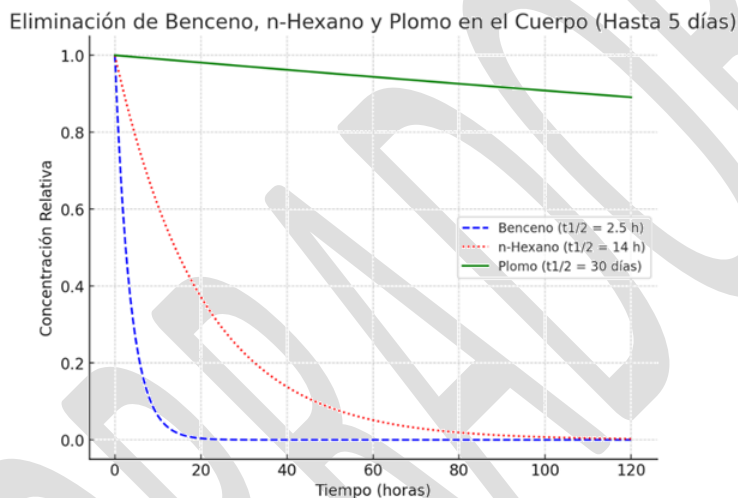
6863 17.3.3 VIDA MEDIA DE LAS SUSTANCIAS

6864 La vida media es un concepto clave en la toxicocinética y se refiere al tiempo necesario para que la
6865 concentración de una sustancia en el organismo se reduzca a la mitad. La vida media determina la
6866 frecuencia y el momento adecuado para el muestreo, ya que es reflejo de la acumulación y eliminación
6867 del compuesto. La determinación de la vida media se basa en el análisis de la disminución de la
6868 concentración del compuesto en un fluido biológico (como sangre u orina) a lo largo del tiempo. Factores
6869 como la vía de administración, la dosis y características individuales de la persona trabajadora (edad, salud
6870 y genética) pueden afectar la vida media de una sustancia, generando variabilidad en los resultados y en
6871 la planificación del monitoreo.

6872

6873

Figura 4. Representación de las vidas medias de 3 sustancias químicas.



6874

6875 En la Figura 4, se muestran 3 sustancias con sus respectivas vidas medias. Se aprecia la notable diferencia
6876 del tiempo de permanencia en el organismo de cada sustancia absorbida.

6877 Para sustancias con vida media corta, el muestreo debe realizarse en intervalos precisos para capturar el
6878 pico de concentración, para con ese valor comparar si cumple o no con la normativa vigente. En cambio,
6879 para sustancias con vida media larga, el muestreo puede ser más espaciado, con lo que la acumulación en
6880 el organismo se hace relevante. Por ejemplo, en sustancias volátiles como la acetona, el muestreo debe
6881 realizarse al final del turno, para captar la concentración máxima. Para sustancias con vida media larga
6882 como el plomo, que se acumula en los huesos, es importante realizar mediciones periódicas para evaluar
6883 posibles efectos neurológicos o hematológicos a largo plazo.

6884 Este tipo de monitoreo puede incluir tanto muestras de sangre como de orina, y en algunos casos otros
6885 tejidos como el cabello, que permiten una evaluación del historial de exposición crónica de la persona
6886 trabajadora. El cabello, por ejemplo, puede acumular metales pesados durante meses, proporcionando
6887 una visión a largo plazo de la exposición. Además, otros biomarcadores como los aductos de ADN o las
6888 enzimas hepáticas, también se utilizan en el monitoreo biológico para evaluar la exposición a diferentes
6889 sustancias químicas, ampliando las herramientas disponibles en la evaluación ocupacional.

6890 Con una comprensión clara de estos fundamentos, el siguiente paso consiste en examinar cómo se
6891 seleccionan las muestras biológicas y se diseñan estrategias de muestreo efectivas. No obstante, es
6892 importante destacar que el D. S. N° 594/1999, que reglamenta las condiciones sanitarias y ambientales
6893 básicas en los lugares de trabajo, establece criterios específicos y obligatorios respecto a la selección de la
6894 matriz biológica y la temporalidad del muestreo. Por tanto, el diseño de estrategias en este contexto debe
6895 alinearse estrictamente con lo dispuesto en esta normativa, limitando la discrecionalidad técnica y
6896 orientando las decisiones a marcos regulatorios predefinidos.

6897

6898 **17.3.4. TIPOS DE MUESTRAS BIOLÓGICAS Y ESTRATEGIAS DE MUESTREO**

6899 El biomonitoreo de la exposición química ocupacional puede involucrar diferentes tipos de muestras
6900 biológicas, como orina, sangre, cabello y uñas. Cada tipo de muestra tiene sus propias ventajas,
6901 desventajas e indicaciones, y la elección de la muestra adecuada depende de la naturaleza de la sustancia
6902 química, la ruta de exposición y los objetivos del monitoreo.

6903 La calidad de los datos informados por el laboratorio es muy importante para la correcta interpretación
6904 de los resultados del biomonitoreo. Ésta se basa en la veracidad, que se evalúa mediante la comparación
6905 con materiales de referencia certificados (MRC) y la participación en ensayos de aptitud; la precisión, que
6906 se determina mediante estudios de repetibilidad y reproducibilidad; y la validación de los métodos, que
6907 incluye la evaluación de parámetros como la selectividad y el límite de cuantificación. Además, es
6908 importante considerar la incertidumbre asociada a cada resultado, que representa el rango de valores en
6909 el que es probable que se encuentre el valor verdadero. Esta incertidumbre se origina en diversas fuentes,
6910 como la variabilidad del método analítico, el muestreo, y la calibración. Una mala calidad de los datos, ya
6911 sea por falta de veracidad o precisión, o por una incertidumbre no considerada, puede llevar a la
6912 subestimación o sobreestimación de la exposición, con graves consecuencias para la salud de los
6913 trabajadores o para la toma de decisiones en materia de salud pública. Es esencial que los laboratorios
6914 que realizan análisis de biomonitoreo, tengan implementado un sistema de gestión de la calidad robusto,
6915 de preferencia que incluya la acreditación según normas internacionales y un programa de control de
6916 calidad interno.

6917 **17.3.4.1 Momento de Muestreo**

6918 El momento adecuado del muestreo depende del perfil toxicocinético de la sustancia. Por ejemplo, las
6919 sustancias que se eliminan rápidamente requieren un muestreo cercano al momento de exposición para
6920 evitar subestimar la carga corporal.

Tabla 17-3. Momentos de muestreo según D. S. N° 594

	Momento de Muestreo	Descripción	Ejemplo de Sustancias
1	Antes del turno (basal)	Muestra recolectada antes de la exposición diaria para evaluar niveles previos	Bromuro de metilo. Se indica que se debe muestrear antes de aplicar el producto y durante el proceso de aplicación
2	Al final del turno	Recolectada tan pronto como sea posible al final del turno laboral	Acetona. Al final de turno (8 horas de exposición), se toma una muestra de orina para medir la concentración
3	Al final de la semana laboral	Recolectada al término de varios días	Hexano (n). El bioindicador es 2,5-hexanodiona. Se toma la muestra de orina al final de la semana laboral
4	Momentos no críticos	Recolectada en cualquier momento	Cadmio. Tiene una excreción lenta y se acumula en el organismo a lo largo del tiempo

6922

6923 17.3.5 VALORES REFERENCIALES Y LÍMITES DE TOLERANCIA BIOLÓGICA

6924 En el ámbito de la salud ocupacional, la interpretación de los resultados de biomonitorio, desde el punto
6925 de vista legal, requiere el uso de parámetros normativos de referencia, que permitan evaluar si una
6926 persona trabajadora ha estado expuesta a niveles de agentes químicos que podrían representar un riesgo
6927 para su salud. Para este propósito, los Límites de Tolerancia Biológica (LTB) establecidos en el D.S. N° 594,
6928 constituyen la referencia oficial para determinar la conformidad con los valores de exposición permitida.

6929 Los LTB son valores normativos que indican la concentración máxima permitida de una sustancia química,
6930 su metabolito o un biomarcador de efecto en una muestra biológica (orina y/o sangre). Estos valores han
6931 sido definidos considerando múltiples factores toxicológicos y epidemiológicos, incluyendo:

- 6932 – Toxicocinética de la sustancia (absorción, distribución, metabolismo y excreción).
- 6933 – Toxicidad aguda y crónica, basada en estudios de modelos experimentales y poblaciones expuestas.
- 6934 – Relación dosis-respuesta, establecida a partir de datos epidemiológicos y ensayos clínicos.
- 6935 – Variabilidad biológica e individual, considerando susceptibilidad genética, fisiológica y médica.
- 6936 – Vías de ingreso relevantes (inhalación, contacto dérmico, ingestión).

6937

6938

6939 17.3.5.1 Aplicación y Alcance de los Límites de Tolerancia Biológica (LTB)

6940 Los LTB se utilizan en la evaluación de la exposición ocupacional en los siguientes contextos:

- 6941 – Monitoreo de trabajadores expuestos a sustancias peligrosas: Permiten verificar si la absorción de un
6942 agente químico se mantiene dentro de los límites considerados seguros.
- 6943 – Evaluación de la eficacia de medidas de control: Sirven para evaluar la efectividad de estrategias de
6944 prevención, como ventilación local, equipos de protección personal (EPP) y controles administrativos.

- 6945 – Diagnóstico temprano de exposiciones excesivas: Identifican trabajadores que han superado los
6946 niveles permitidos y requieren medidas correctivas inmediatas.
6947 – Cumplimiento normativo y fiscalización: Son utilizados por las autoridades sanitarias para verificar el
6948 cumplimiento de las condiciones de exposición permitidas en el lugar de trabajo.

6949 Es importante destacar que los LTB no garantizan la ausencia absoluta de riesgo, sino que representan
6950 umbrales que, en condiciones normales de exposición laboral, minimizan la probabilidad de efectos
6951 adversos en la mayoría de las personas trabajadoras. Sin embargo, no protegen necesariamente a
6952 poblaciones vulnerables, como personas trabajadoras con afecciones preexistentes o hipersensibilidad a
6953 ciertos compuestos.

6954

6955 **17.3.5.2 Consideraciones sobre el Uso de Valores Referenciales en Biomonitorio Laboral**

6956 En el contexto regulado por el D. S. N° 594/1999 en su Artículo 113, la evaluación de la exposición laboral
6957 debe basarse exclusivamente en los LTB definidos en la normativa. En ausencia de un LTB específico para
6958 una sustancia determinada, no se reconoce oficialmente ningún valor alternativo con efecto normativo.

6959 No obstante, en ciertos escenarios, los valores referenciales poblacionales pueden utilizarse como
6960 herramienta epidemiológica de apoyo, siempre que se entienda que no sustituyen ni equiparan a los LTB
6961 en el cumplimiento normativo. Su aplicación se restringe a:

- 6962 – Investigaciones epidemiológicas y estudios longitudinales para identificar tendencias de exposición en
6963 poblaciones ocupacionales específicas.
6964 – Evaluaciones internas de vigilancia médica ocupacional, cuando se requiere un análisis preliminar en
6965 sustancias para las cuales aún no se han establecido LTB.
6966 – Diferenciación entre exposición ambiental y ocupacional, en situaciones donde se sospecha que los
6967 niveles detectados en una persona trabajadora podrían estar influenciados por fuentes ajenas al
6968 entorno laboral.

6969 Los valores referenciales se derivan de estudios en poblaciones no expuestas ocupacionalmente, por lo
6970 que no pueden utilizarse como criterio oficial para determinar si una exposición laboral es segura o no. Su
6971 uso debe ser complementario y bajo el respaldo de especialistas en toxicología ocupacional.

6972

6973 **17.3.5.3 Historial Personal y Modelos de Interpretación Personalizada en Biomonitorio**

6974 El análisis de datos de biomonitorio no solo debe considerar valores normativos, sino también integrar el
6975 historial individual de los trabajadores para mejorar la precisión de la evaluación. Este enfoque permite
6976 detectar patrones de exposición prolongada, acumulación de sustancias en el organismo o variaciones
6977 interindividuales significativas.

6978 Algunos factores clave en la personalización del análisis incluyen:

- 6979 – **Edad, sexo y condición fisiológica:** Pueden influir en la absorción, metabolismo y eliminación de
6980 sustancias químicas.
6981 – **Historial laboral y de exposición previa:** Personas trabajadoras con exposiciones prolongadas pueden
6982 presentar bioacumulación o tolerancia adaptativa.
6983 – **Estado de salud preexistente:** Patologías hepáticas, renales o metabólicas pueden alterar la
6984 toxicocinética de ciertos compuestos.



6985 Para mejorar la precisión en la interpretación de datos, se pueden establecer Intervalos de Referencia
6986 Personalizados (IRP), los cuales se construyen a partir de mediciones previas de la misma persona
6987 trabajadora, permitiendo evaluar cambios significativos en su perfil de exposición.

6988 Para abordar de manera realista las diferencias entre personas trabajadoras en la respuesta a un
6989 contaminante químico específico, se puede recurrir al uso del modelo farmacocinético que está basado
6990 en la fisiología propia de cada individuo.

6991

6992 17.3.6 LIMITACIONES DEL MONITOREO BIOLÓGICO

6993 Si bien el monitoreo biológico es una herramienta valiosa, presenta ciertas limitaciones que deben
6994 considerarse para una correcta interpretación de los resultados.

6995 La variabilidad biológica es un factor muy relevante que puede influir significativamente en los resultados
6996 del monitoreo biológico, al estar determinada por aspectos individuales como la edad, el estado de salud,
6997 la dieta, la genética y los ritmos circadianos. Estas variables afectan la absorción, metabolismo y excreción
6998 de sustancias químicas, generando diferencias tanto entre individuos como en el mismo individuo a lo
6999 largo del tiempo. Por ejemplo, la disminución de la función renal con la edad, alteraciones metabólicas
7000 derivadas de enfermedades crónicas o el consumo de ciertos alimentos pueden modificar las
7001 concentraciones de los biomarcadores. Por ello, es fundamental considerar estas fuentes de variabilidad
7002 al diseñar protocolos de muestreo, estableciendo controles adecuados y ajustando la interpretación de
7003 los resultados para garantizar su validez y representatividad en el contexto del monitoreo o, de lo
7004 contrario, aplicar el modelo PBPK (Ver Nota Técnica 135).

7005

7006 17.4 CONSIDERACIONES PRACTICAS SEGÚN NORMATIVA VIGENTE.

- 7007 a. En la actualidad la vigilancia biológica se realiza según lo determina el D.S. N° 594/ 1999, el cual en su
7008 Artículo 113 menciona que las muestras biológicas a considerar son la sangre y la orina.
- 7009 b. Al realizar los análisis en orina, las concentraciones medidas para los diversos agentes químicos son
7010 normalizadas por la creatinina, tal como lo señala la OMS. Esta normalización es la única a considerar
7011 en la actualidad.
- 7012 c. El momento de muestreo se realiza en función de la vida media del agente químico.
- 7013 d. El momento de muestreo se realiza en función de la siguiente terminología:
- 7014 ➤ Antes de comenzar el turno: Después de 16 horas sin exposición.
 - 7015 ➤ Al final del turno: Durante las dos últimas horas de exposición.
 - 7016 ➤ Al comienzo de la semana de trabajo: Después de dos días sin exposición.
 - 7017 ➤ Al final de la semana de trabajo: Después de cuatro o cinco días de trabajo con exposición.
 - 7018 ➤ No crítico o discrecional: Independiente del tiempo de exposición.
- 7019 e. Para la correcta toma de muestra de sangre venosa con sistema de extracción al vacío, a continuación,
7020 se declara el paso a paso.
- 7021 ➤ Identificar al paciente a través de su Cedula de identidad.
 - 7022 ➤ Entregar al paciente la información sobre la toma de muestra de sangre venosa.
 - 7023 ➤ Lavarse clínicamente las manos y colocarse guantes.
 - 7024 ➤ Escoger la zona a puncionar.
 - 7025 ➤ Colocar torniquete.
 - 7026 ➤ Desinfectar la piel del paciente.
 - 7027 ➤ Desenroscar el protector de la aguja.
 - 7028 ➤ Enroscar la aguja en la porta tubas.

- 7029 ➤ Puncionar la vena con el sistema de extracción (con un Angulo inicial de unos 15° en la
7030 dirección de la vena, con el brazo del paciente estirado y con el bisel de la aguja hacia
7031 arriba).
- 7032 ➤ Introducir el tubo, ya identificado, dentro del porta tubos sujetando bien este para evitar
7033 el desplazamiento de la aguja, y tan pronto como fluya la sangre, afloje el torniquete.
- 7034 ➤ Esperar el llenado del tubo.
- 7035 ➤ Extraer el tubo lleno del porta tubos y mezclar por inversión (5 a 10 veces) suavemente la
7036 muestra con el anticoagulante.
- 7037 ➤ Retirar la ligadura o torniquete.
- 7038 ➤ Retirar la aguja suavemente.
- 7039 ➤ Comprimir el punto de punción con una tórula de algodón seca y observar que no haya
7040 sangrado en el sitio de punción. Coloque un sella en el sitio de punción con tela adhesiva
7041 y algodón e indique al paciente que este debe ser retirado más tarde.
- 7042 ➤ Desechar el material utilizado en cajas clínicas.
- 7043 f. Para la correcta toma de una muestra de orina puntual, a continuación, se declara el paso a paso.
- 7044 ➤ Identificar al paciente a través de su Cedula de identidad.
- 7045 ➤ Instruir al paciente sobre cómo realizar la toma de muestra de orina.
- 7046 ➤ Lavarse clínicamente las manos y colocarse guantes.
- 7047 ➤ Rotular el frasco de orina.
- 7048 ➤ Entregar al paciente el frasco.
- 7049 ➤ Recepcionar la muestra y verificar la correcta hermeticidad del frasco (contratapa y tapa).
- 7050 ➤ Refrigerar la muestra hasta su retiro para análisis.
- 7051 g. Para la correcta toma de una muestra de cabello, a continuación, se declara el paso a paso.
- 7052 ➤ Identificar al paciente a través de su cédula de identidad.
- 7053 ➤ Informar al paciente sobre la toma de muestra.
- 7054 ➤ Lavarse clínicamente las manos y colocarse guantes.
- 7055 ➤ Indicar al paciente sentarse cómodamente.
- 7056 ➤ Elegir una zona del cuero cabelludo de la parte occipital del cráneo, de la cual obtendrá el
7057 cabello.
- 7058 ➤ Cortar en la base del pelo, en la zona más próxima al cuero cabelludo, un mechón que
7059 pese aproximadamente 1 gramo.
- 7060 ➤ Depositar la muestra en el interior de un contenedor limpio o estéril.
- 7061 ➤ Asegurar la hermeticidad del contenedor.
- 7062 ➤ Rotular el contenedor de la muestra con el nombre del paciente, cédula de identidad y
7063 cualquier otro dato de interés para el análisis.
- 7064 h. Para la correcta toma de una muestra de uña, a continuación, se declara el paso a paso.
- 7065 ➤ Identificación del paciente a través de su Cedula de identidad.
- 7066 ➤ Informar al paciente sobre la toma de muestra.
- 7067 ➤ Lavarse clínicamente las manos y colocarse guantes.
- 7068 ➤ Indicar al paciente sentarse cómodamente.
- 7069 ➤ Observar las manos del paciente para definir si es posible obtener una muestra de sus
7070 unas. No deben estar esmaltadas.
- 7071 ➤ Si es posible, cortar las uñas teniendo la precaución de no llegar a la base de ellas.
- 7072 ➤ Obtener una muestra de 0,5 gramos de uñas.
- 7073 ➤ Depositar la muestra en el interior de un contenedor limpio o estéril.
- 7074 ➤ Asegurar la hermeticidad del contenedor.
- 7075 ➤ Rotular el contenedor con el nombre, cédula de identidad y cualquier otro dato de interés
7076 para el análisis.

17.5 INDICADORES BIOLÓGICOS DEFINIDOS EN EL D.S. N° 594.

AGENTE QUÍMICO	INDICADOR BIOLÓGICO	MUESTRA	LIMITE DE TOLERANCIA BIOLÓGICA	MOMENTO DE MUESTREO
Acetona	Acetona	Orina	30 mg / 100 ml	Fin de turno. Fin de semana laboral.
Arsénico	Arsénico inorgánico (As-I) y sus metabolitos (DMA+MMA)	Orina	50 µg / g creat.	Al finalizar el tercer día de exposición o al finalizar la semana de trabajo.
Benceno	Ac. t-t'-mucónico	Orina	0,5 mg / g creat.	Fin de turno.
Bromuro de Metilo (*)	Ión sangre	Sangre	10 mg/L	Antes de aplicar y durante periodos de aplicaciones
Cadmio	Cadmio	Orina	10 µg / g creat	No crítico
Cianuro	Tiocianatos	Orina	6 µg / g creat (no fumadores)	Fin de turno
Ciclohexano	Ciclohexanol	Orina	3,2 mg / g creat	Fin de turno. Fin de semana laboral.
Cromo	Cromo	Orina	30 µg / g creat.	Fin de turno. Fin de semana laboral.
Disulfuro de carbono	Ac. 2 Tiazolidin Carboxílico (TTCA)	Orina	5 mg / g creat.	No crítico
Estireno	Ac. Mandélico Ac. Fenilglioxílico	Orina	800 mg / g creat. 240 mg / g creat.	Fin de turno. Fin de turno.
Etil benceno	Ac. Mandelico	Orina	1500 mg / g creat.	Fin de turno
Fenol	Fenol	Orina	250 mg / g creat.	Fin de turno.
Hexano (n)	2,5-hexanodiona	Orina	4 mg / g creat.	Fin de semana de trabajo.
Lindano	Lindano	Sangre	2 µg / 100 ml	No crítico
Manganeso	Manganeso	Orina	40 µg / L	No crítico
Mercurio inorgánico	Mercurio	Orina Sangre	50 µg / g creat 2 µg / 100 ml	No crítico No crítico
Mercurio orgánico	Mercurio	Sangre	10 µg / 100 ml	No crítico
Metanol	Metanol	Orina	7 mg / g creat.	No crítico
Metilcloroformo	Ac. Tricloroacético	Orina	10 mg / L	Fin de turno. Fin de semana de trabajo.
Metiletacetona	MEC	Orina	2,6 mg / g creat	Fin de turno. Fin de semana laboral.
Metilisobutilcetona	MIBC	Orina	0,5 mg / g creat	Fin de turno. Fin de semana laboral.
Metil-n-butilcetona	2,5-hexanodiona	Orina	4 mg / g creat.	Fin de turno. Fin de semana laboral.

Monóxido de Carbono	Carboxihemoglobina	Sangre	Hasta 3,5 % (no fumador)	Fin de turno
Pentaclorofenol (PCF)	PCF libre plasma	Sangre	5 mg / L	Fin de turno.
	PCF total	Orina	2 mg / g creat.	Fin de semana laboral.
Pesticidas Organofosforados y Carbamatos	Actividad de Acetilcolinesterasa	Sangre	Disminución a un 70% o menos de la actividad registrada antes de la aplicación	Antes del periodo de aplicación y durante dicho periodo
	Actividad de acetilcolinesterasa eritrocitaria	Sangre	Reducción de la actividad al 70% del valor basal individual	Antes del periodo de aplicación y durante dicho periodo
Plomo	Plomo	Sangre	40 µg / 100 ml	No crítico
Selenio	Selenio	Orina	100 µg / g creat	No crítico
Tetracloroetileno	Ac. Tricloroacético	Orina	7 mg / L	Fin de turno. Fin de semana de trabajo
Tolueno	Tolueno	Sangre	0,05 mg / L	Antes de finalizar el último turno de la semana laboral
	Tolueno	Orina	30 µg / L	Al finalizar la jornada de trabajo
Tricloroetileno	Ac. Tricloroacético	Orina	100 mg / L	Fin de turno Fin de semana de trabajo.
	Ac. Tricloroacético más Tricloroetanol	Orina	320 mg / g creat (o) 300 mg / L	Fin de turno Fin de semana de trabajo.
Xileno	Ac. Metilhipúrico	Orina	1500 mg / g creat.	Fin de semana laboral

7078

7079

7080 17.6 BIBLIOGRAFÍA.

7081 - ACGIH. (2024). *Biological Exposure Indices (BEI)*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists.

7083 - Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). (1999). *Toxicological Profile for Acetone*. U.S. Department of Health and Human Services. Recuperado de <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp21-c3.pdf>

7086 - International Labour Organization (ILO) / International Programme on Chemical Safety (IPCS). (1979). *Glossary of Terms on Chemical Safety*.

7088 - Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2019). NTP 586: Directrices para el Biomonitoring de Exposición Ocupacional. España.

7089 - Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). NTP 486: Evaluación de la exposición a benceno: control ambiental y biológico. España.

7091



- 7092 - Ministerio de Salud de Chile. Decreto Supremo N° 594/1999: Reglamento sobre Condiciones
- 7093 Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo.
- 7094 - National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). (2020). NIOSH Manual of Analytical
- 7095 Methods (NMAM), 5th Edition.
- 7096 - Biological monitoring of chemical exposure in the workplace. Guidelines. Volume 1. World Health
- 7097 Organization. Geneva 1996.
- 7098 - Asociación Española de toxicología. Glosario de términos toxicológicos. IUPAC (Duffus y cols.
- 7099 1993). Versión Española ampliada. Autores: M. REPETTO y P. SANZ. Colaboradores: C. Jurado, M.
- 7100 López-Artíguez, M. Menéndez, E. de la Peña
- 7101 - WHO (1989a) "Glossary of Terms on Chemical Safety for Use in IPCS Publications", World health
- 7102 Organization, Geneva.
- 7103 - Nota Técnica 135: Protegiendo al trabajador – La importancia del momento de biomuestreo en la
- 7104 Vigilancia de la Salud Ocupacional. Septiembre, 2025. Instituto de Salud Pública de Chile.
- 7105

BORRADOR

7106 **CAPÍTULO XVIII**
7107 **EVALUACIÓN CUALITATIVA DEL RIESGO POR EXPOSICIÓN A NANOMATERIALES**
7108 **Método CB Nanotool 2.0**

7109

7110

7111 **18.1. INTRODUCCIÓN**

7112 En las últimas décadas, el uso de nanomateriales ha experimentado un crecimiento exponencial,
7113 revolucionando campos tan diversos como la medicina, la energía, la construcción, la industria
7114 aeroespacial y la electrónica. Estos materiales, cuyas dimensiones externas son inferiores a 100
7115 nanómetros, presentan propiedades específicas que las hacen valiosas para muchas aplicaciones, sin
7116 embargo, plantean desafíos significativos en términos de seguridad y salud ocupacional. Su capacidad para
7117 atravesar barreras biológicas, su elevada reactividad y su potencial para generar efectos adversos en
7118 sistemas vivos —dependiendo de parámetros como tamaño, forma, solubilidad y composición química—
7119 hacen que la evaluación de riesgos asociados a su manipulación sea una tarea crítica y compleja^{61, 62, 63}.

7120 La exposición ocupacional a nanomateriales puede ocurrir en varias etapas: durante la fabricación, en la
7121 incorporación de nanomateriales a un producto intermedio o final, en el uso profesional y en la eliminación
7122 de residuos que los contienen, como también en las actividades de mantención y limpieza de los equipos
7123 e instalaciones^{3,64}. Sin embargo, la falta de límites de exposición ocupacional para la mayoría de los
7124 nanomateriales manufacturados, y la ausencia de información toxicológica, dificultan el uso de los
7125 métodos clásicos de evaluación del riesgo respiratorio por inhalación de partículas suspendidas en el aire,
7126 basados en la determinación de la concentración en masa de aquellas fracciones de interés toxicológico
7127 (inhalable, torácica y respirable). Adicionalmente, los efectos de los nanomateriales sobre la salud de las
7128 personas estarían relacionados más que con la masa, con parámetros como el área superficial, tamaño,
7129 forma y número de partículas, y otras propiedades físico-químicas.

7130 Existe una diversidad de equipos que permiten realizar mediciones de nanomateriales en aire, estimando
7131 los niveles de exposición en función del número de partículas, área superficial, la masa, o hacer un
7132 seguimiento en el tiempo y evaluar la eficacia de las medidas de control. No obstante, todavía hay un
7133 desarrollo insuficiente de metodologías, equipos de muestreo personal y dispositivos estandarizados para
7134 medir los niveles de exposición y las fuentes de emisión⁶⁵.

7135 Bajo condiciones de incertidumbre, sin información toxicológica suficiente, ni límites de exposición
7136 ocupacional, tienen una gran utilidad los métodos cualitativos de evaluación del riesgo fundados en el
7137 principio de precaución, y entendidos como una herramienta adicional en el proceso de evaluación y no
7138 como una alternativa a la evaluación cuantitativa de la exposición.

⁶¹ Seung Won Shin, In Hyun Song and Soong Ho Um; *Role of Physicochemical Properties in Nanoparticle Toxicity*; *Nanomaterials* 2015, 5, 1351-1365

⁶² Amer S. El-Kalliny, Mahmoud S. Abdel-Wahed, Adel A. El-Zahhar, Ibrahim A. Hamza, Tarek A. Gad-Allah. *Nanomaterials: a review of emerging contaminants with potential health or environmental impact*. *DiscoverNano* (2023) 18:68

⁶³ OECD (2015). *Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Number 55. Harmonized tiered approach to measure and assess the potential exposure to airborne emissions of engineered nano-objects and their agglomerates and aggregates at workplaces*

⁶⁴ *Herramientas para la gestión de nanomateriales en el lugar de trabajo y medidas de prevención*. E-FACTS. 72. European Agency for Safety and Health at Work. 2013

⁶⁵ INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2015). *Salud y seguridad en el trabajo con nanomateriales*. Madrid. Actual INSST

7139 En un mundo donde la innovación en nanotecnología avanza más rápido que la regulación, esta
7140 metodología se convierte en un recurso importante para evaluar los riesgos emergentes, estableciendo
7141 un equilibrio entre el avance tecnológico y la protección de la salud humana y el medio ambiente.

7142 En este capítulo, presentamos el Método CB Nanotool 2.0, desarrollado por Samuel Y. Paik y David M. Zalk,
7143 aplicable a trabajos de laboratorio de investigación o producción a pequeña escala, que permite tener un
7144 panorama inicial sobre los procesos, el nivel de riesgo, y propone adoptar medidas preventivas en un
7145 determinado proceso de trabajo^{66, 67}.

7146

7147 18.2. TÉRMINOS Y CONCEPTOS.

7148

- 7149 – **Nano-objeto:** la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) define como el material con
7150 una, dos o tres dimensiones externas en la nanoescala⁶⁸.
- 7151 – **Nanomaterial:** el 2011, la Comisión Europea recomendó la siguiente definición: “por nanomaterial se
7152 entiende un material natural, secundario o fabricado que contenga partículas, sueltas o formando un
7153 agregado o aglomerado y en el que el 50% o más de las partículas en la granulometría numérica
7154 presente una o más dimensiones externas en el intervalo de tamaños comprendido entre 1 nm y 100
7155 nm”⁶⁹.

7156 A su vez la Comisión describe los estados de acumulación de nanopartículas:

7157 **Aglomerado:** un conjunto de partículas débilmente ligadas o de agregados en que la extensión de
7158 la superficie externa resultante es similar a la suma de las extensiones de las superficies de los
7159 distintos componentes.

7160 **Agregado:** una partícula compuesta de partículas fuertemente ligadas o fusionadas.

- 7161 – **Diámetro aerodinámico:** diámetro de una partícula esférica con una densidad de 1000 kg/m³ que tiene
7162 la misma velocidad de sedimentación que la partícula considerada.

7163 **NOTA.** El diámetro aerodinámico está relacionado con las propiedades inerciales de las partículas
7164 de aerosol y generalmente se utiliza para describir partículas mayores a aproximadamente 100
7165 nm.

- 7166 – **Área superficial específica:** área superficial por unidad de masa de una partícula o material.

- 7167 – **Nanoplaca:** nano objeto con una dimensión externa en la nanoescala y las otras dos dimensiones
7168 externas significativamente mayores.

7169 **NOTA 1.** La dimensión externa más pequeña es el espesor de la nanoplaca.

7170 **NOTA 2.** Las dos dimensiones significativamente mayores se consideran distintas a la dimensión
7171 en la nanoescala por un factor de más de tres veces.

7172 **NOTA 3.** Las dimensiones externas mayores no necesariamente están en la nanoescala.

⁶⁶ INSST. 2021. *Evaluación de la exposición laboral a nanomateriales: 1- Dióxido de Titanio*

⁶⁷ PAIK SY, ZALK DM, SWUSTE P (2008) “Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures” *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 52, No. 6, pp. 419–428)

⁶⁸ ISO/TS 12901-1:2012 *Nanotechnologies. Occupational risk management applied to engineered nanomaterials*. Part 1: Principles and approaches

⁶⁹ Comisión Europea (CE), Recomendación de la Comisión, de 18 de octubre de 2011, relativa a la definición de nanomaterial, DO L 275, págs. 38-40, 2011. Disponible en:

<http://eurhttp://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:ES:PDF>

7173 – **Nanofibra:** nano objeto con dos dimensiones externas similares en la nanoescala y una **tercera**
7174 **dimensión significativamente mayor que las otras dos.**

7175 **NOTA 1.** La dimensión externa más grande es la longitud de la nanofibra y no necesariamente está
7176 en la nanoescala.

7177 **NOTA 2.** Las dos dimensiones externas similares se consideran distintas en tamaño por menos de
7178 tres veces, mientras que la dimensión significativamente mayor difiere de las otras dos por más
7179 de tres veces.

7180 **NOTA 3.** Una nanofibra puede tener cualquier forma transversal que cumpla con los límites
7181 dimensionales de esta definición.

7182

7183 En cuanto a sus fuentes, los nanomateriales pueden clasificarse en los siguientes tres tipos²:

7184 a. **Nanomateriales naturales:** son materiales de escala nanométrica que ocurren naturalmente,
7185 producidos en la naturaleza por especies biológicas o mediante actividades antropogénicas. Se
7186 generan en diversos procesos naturales, como reacciones fotoquímicas, erupciones volcánicas,
7187 incendios forestales y erosión simple, así como por plantas y animales (por ejemplo, piel
7188 descamada y cabello).

7189 b. **Nanomateriales incidentales:** se generan como subproductos o derivados de procesos
7190 antropogénicos y actividades humanas, como trenes, barcos, aviones, vehículos terrestres, e
7191 incluso algunos procesos naturales como incendios forestales.

7192 c. **Nanomateriales artificiales** (ENMs, por sus siglas en inglés): representan nanomateriales
7193 manufacturados, producidos deliberadamente con propiedades específicas. Pueden generarse
7194 mediante métodos físicos, químicos o híbridos, como molienda (a partir de sus contrapartes a
7195 macroescala) o autoensamblaje.

7196

7197 **18.3. DESCRIPCIÓN GENERAL**

7198 La evaluación cualitativa de la exposición a nanomateriales consiste en la recopilación de datos para la
7199 caracterización fisicoquímicas del nanomaterial (**severidad o peligrosidad del agente**) y de la exposición
7200 (**probabilidad de exposición**). A cada grupo de datos se le asigna una puntuación, de esa forma quedan
7201 definidas las bandas de peligro y de exposición. El cruce de estas bandas define el **nivel de riesgo potencial**
7202 de una determinada actividad, a la cual se asocia un cierto esquema de control, o establece las prioridades
7203 en la gestión de los riesgos. Estos métodos, se entienden como una herramienta complementaria, y no
7204 como una alternativa a la evaluación cuantitativa de la exposición^{7, 70, 71}

7205 En la **Tabla 18-1**, se encuentran resumidos diferentes métodos cualitativos de evaluación de los riesgos
7206 por exposición a nanomateriales, y sus características principales (adaptado de referencia 4).

7207

⁷⁰ INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2014). *Comparación de los métodos de evaluación cualitativa del riesgo por exposición a nanomateriales CB Nanotool 2.0 y Stoffenmanager nano 1.0*

⁷¹ INSHT. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (2010). NTP Nota Técnica de Prevención N°877. *Evaluación del riesgo por exposición a nanopartículas mediante el uso de metodologías simplificadas*

Tabla 18-1, Resumen de métodos cualitativos de evaluación de los riesgos por exposición a nanomateriales

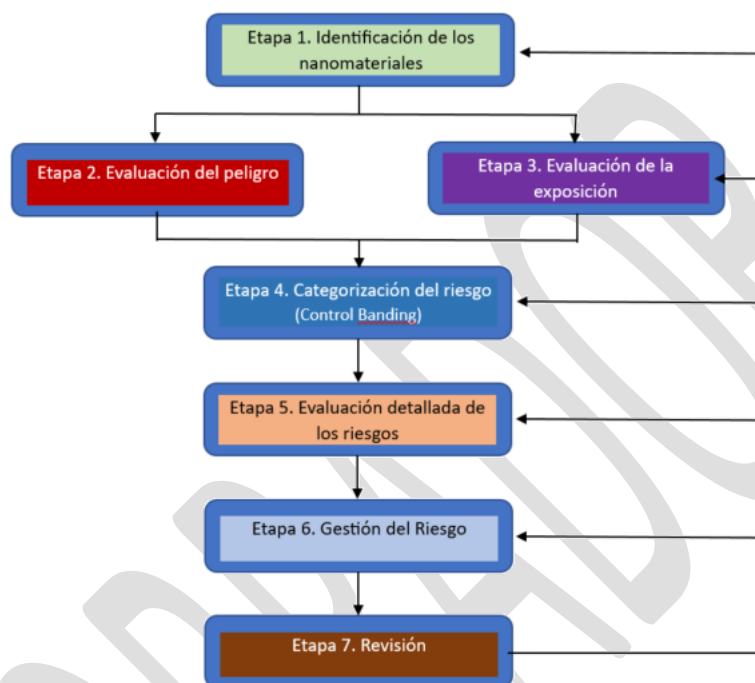
Herramienta de gestión de riesgos	Enfoque de gestión de riesgos	Área de aplicación	Limitaciones
CB Nanotool 2.0 ⁷ Lawrence Livermore National Laboratory	1. Puntaje de peligro con 15 factores: <ul style="list-style-type: none"> - Físico-química del nanomaterial; - Toxicidad del material (nano y padre). 2. La probabilidad se calcula a partir de: <ul style="list-style-type: none"> - cantidad de nanomaterial; - pulverulencia; - capacidad para formar nieblas; - n° trabajadores expuestos; - frecuencia y duración de la tarea. 	Trabajos de laboratorio; o producción a pequeña escala.	<ul style="list-style-type: none"> - Datos de toxicidad limitados - Difícil categorizar la pulverulencia. - Factor desconocido se asigna 75% del puntaje máximo. - Más datos de toxicidad podría variar relevancia de un factor. - No acepta cambios en el proceso, (eliminar rutas de transporte, automatizar, etc.)
Stoffenmanager Nano Stoffenmanager: Nano module	1. Identificación del nanomaterial y sus propiedades; 2. Descripción de los procesos; 3. Descripción del área de trabajo; 4. Medidas de control implementadas; 5. Evaluación de riesgos resultante; 6. (6) Elabora plan de acción con medidas de control de riesgos.	Nanomateriales insolubles (agua) con tamaño inferior a 100 nm, y superficie específica superior a 60 m ² /g. Abarca nanopartículas primarias, agregados y aglomerados.	<ul style="list-style-type: none"> - Un nanomaterial muy peligroso (clase E), es un riesgo prioritario más allá de la exposición. Enfoque precautorio. - Todas las fibras se clasifican en la clase más peligrosa (E). - (c) Las medidas de control rara vez reducen el nivel de riesgo real dentro de la herramienta.
NanoSafer NanoSafer	1. Propiedades del nanomaterial y del material padre, límites de exposición para polvo respirable o mineral, índice de polvo e información de hoja de datos de seguridad; 2. Identifica el proceso (manipulación de polvo o liberación accidental); 3. Calcula puntuación de la evaluación; 4. Orienta sobre medidas de control.	Lugares de trabajo en los que se manipulan nanomateriales en forma de polvo, así como liberaciones accidentales de nanomateriales	La evaluación de riesgos se basa en parámetros físicos y hojas de datos de seguridad, que rara vez contienen información toxicológica sobre nanomateriales; la herramienta cubre nanomateriales solo en forma de polvo; disponible solo en danés
ANSES Control Banding Development of a specific Control Banding Tool for Nanomaterials Anses - Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation,	1. Análisis de la información disponible (producto y lugar de trabajo); 2. Asignación de bandas de riesgo;	Todos los entornos de trabajo.	La información necesaria para la asignación de bandas de riesgo (p.e. la actividad de especies reactivas de oxígeno) podría ser difícil de recopilar.

de l'environnement et du travail	<ol style="list-style-type: none"> 3. Asignación potencial de emisiones; 4. Definición del plan de acción; 5. Implementación del plan de acción; 6. Monitoreo rutinario; 7. Revisión periódica de riesgos; 8. Estudio científico y tecnológico para la actualización de conocimientos; 9. Registro de datos. 		
GoodNanoGuide Group: Good Nano Guide ~ Basics of Nanotechnology	Usuarios según nivel de conocimientos: básico, intermedio y avanzado. La opción avanzada, tiene gestión de riesgos con: <ol style="list-style-type: none"> 1. Identificar el potencial peligro, 2. Estimar la exposición, y 3. Recomendar controles. 	El enfoque es muy general y aplicable a muchas situaciones en las que se manipulan nanomateriales.	Muchas páginas web de la herramienta aún están incompletas. La guía se basa en la normativa estadounidense (p. ej., para equipos de protección personal).

7209

7210 Un esquema global de la evaluación cualitativa de los riesgos por exposición a nanomateriales se puede
 7211 ver en la figura 1, y las diferentes etapas que la componen (12). En la **Etapas 1**, el empleador debe verificar
 7212 la existencia de nanomateriales en el lugar de trabajo. La fuente de información primaria es la hoja de
 7213 datos de seguridad que acompaña la sustancia/mezcla usada en el lugar de trabajo, que puede ser
 7214 encontrada en las siguientes secciones: 1.- Identificación de la sustancia/mezcla y de la empresa; 3.-
 7215 Composición/información acerca de los ingredientes; 9.- Propiedades físicas y químicas. En la **Etapas 2**, si
 7216 hay nanomateriales en el lugar de trabajo, el empleador debería evaluar cualquier riesgo a la seguridad y
 7217 salud de los trabajadores. La información sobre la peligrosidad de un agente químico puede obtenerse de:
 7218 etiquetas (pictogramas); hoja de datos de seguridad (frases H); recomendaciones de organismos
 7219 internacionales (Comisión Europea, NIOSH, NSST, otros); valores límites de exposición ocupacional; otras
 7220 fuentes (literatura científica, datos revisados por pares, bases de datos relevantes, etc.). El impacto que
 7221 tiene cada factor lo veremos en detalle en la siguiente sección, cuando describamos el método CB
 7222 Nanotool 2.0. En la **Etapas 3**, se evalúa la probabilidad de exposición. Un aspecto crucial en la evaluación
 7223 de riesgos es conocer en detalle los procesos y el potencial de exposición de los trabajadores. Se definen
 7224 las actividades rutinarias y posibles eventos que podrían liberar nanomateriales, algunas actividades
 7225 genéricas pueden ser: i) recepción, desembalaje y entrega de material; ii) Operaciones de laboratorio; iii)
 7226 fabricación y acabado; iv) limpieza y mantenimiento; v) almacenamiento, embalaje y envío; vi) gestión de
 7227 residuos; vii) emergencias previsibles. Durante la **Etapas 4**, se categoriza el riesgo ("Control Banding"), se
 7228 conoce el nivel de riesgo resultante y las medidas de control de riesgo que el método recomienda
 7229 implementar. A mayor nivel de riesgo resultante, más exigentes deben ser las medidas adoptadas. Para
 7230 los niveles de riesgo 1 y 2, se implementan las medidas habituales de gestión, observando la jerarquía de
 7231 los controles de riesgos. Para los niveles 3 y 4 se recomienda una evaluación de riesgos detallada. En la
 7232 **Etapas 5**, un principio importante de la salud ocupacional y la práctica de seguridad, es evaluar
 7233 cuantitativamente la exposición potencial, y verificar la eficacia de los controles de ingeniería. Esto puede
 7234 ser complementado con mediciones periódicas de la exposición, cuando se disponga de metodologías de
 7235 muestreo y analíticas adecuadas, teniendo en cuenta cualquier límite de exposición ocupacional específico
 7236 de un nanomaterial. Para la **Etapas 6**, el principio es que el riesgo para la salud y la seguridad de los

7237 trabajadores debe ser eliminado o reducido al máximo, mediante i) diseño y organización de los sistemas
7238 de trabajo; ii) entrega de equipos adecuados para el trabajo con agentes químicos, y el mantenimiento
7239 que garantice salud y seguridad; iii) reducción del número de trabajadores expuestos; iv) reducir la
7240 cantidad de agentes químicos presentes en el trabajo; v) procedimientos para la manipulación,
7241 almacenamiento y transporte seguro de agentes químicos peligrosos. En cuanto a la aplicación de la
7242 jerarquía de los controles, se debe adoptar una combinación adecuada de diferentes medidas, para el
7243 manejo seguro de nanomateriales (Eliminación/sustitución; modificación de procesos; Aislamiento o
7244 encerramiento; Control de ingeniería; Control administrativo; y Elementos de protección personal). La
7245 **Etapa 7**, está pensada para revisar periódicamente tanto la evaluación de riesgos, como la eficacia de las
7246 medidas de control de riesgo implementadas⁷².



7261 **Figura 18-1. Diagrama de flujo de la evaluación cualitativa de los riesgos**

7264 18.4. MÉTODO CB Nanotool 2.0

7265 El método, expresa el riesgo como resultado de la combinación de dos componentes factoriales: **la**
7266 **severidad del peligro y la probabilidad de la exposición**. Primero, se establece una puntuación para la
7267 severidad, y luego una puntuación para la probabilidad. Ambas, se obtienen a partir de la suma de
7268 puntuaciones relativas de diferentes factores que se han considerado importante. En la **Tabla 18-2**, se
7269 resume los 15 factores propuestos para estimar la severidad en base a propiedades físico-químicas y
7270 toxicológicas del nanomaterial, y de las propiedades toxicológicas del material padre^{7, 11,73,74}.

⁷² European Commission. 2014. *Guidance on the protection of the health and safety of workers from the potential risks related to nanomaterials at work*. Employment, Social Affairs & Inclusion

⁷³ Herramientas de prevención de riesgos laborales para pymes. Fundación para la Prevención de Riesgos Laborales. *¿Son los nanomateriales un riesgo para mi salud y seguridad en el trabajo? Una guía para la información y sensibilización para trabajadoras y trabajadores de pequeñas empresas*. Año 2015

⁷⁴ Berlanía T., Colorado M., Gálvez V., Sousa ME. *Exposición laboral a nanomateriales en el ámbito de la investigación: aplicación de la metodología cualitativa CB Nanotool para la evaluación del riesgo*. Centro Nacional de Nuevas Tecnologías. INSHT. Revista Seguridad y Salud en el Trabajo N°89, diciembre 2016: 22-29

7271

Tabla 2. Materiales y parámetros para estimar la peligrosidad de un nanomaterial

PROPIEDADES	TIPO DE MATERIAL	
	NANOMATERIAL (70%)	MATERIAL PADRE(30%)
FISICO-QUÍMICAS (40%)	Química Superficial Forma de la partícula Diámetro de la partícula Solubilidad	
TOXICOLÓGICAS (30%)	Carcinogenicidad Reprotoxicidad Mutagenicidad Toxicidad dérmica Capacidad de producir asma	Carcinogenicidad Reprotoxicidad Mutagenicidad Toxicidad dérmica Capacidad de producir asma Toxicidad en función del VLA-ED

7272

7273 18.4.1 Puntuación de la Severidad.

7274 Corresponde a la suma de todos los factores de la severidad. La puntuación máxima es 100. En la escala
 7275 nano ponderan un 40% las propiedades físico-químicas, y un 30% las toxicológicas. Respecto a las
 7276 propiedades del nanomaterial ponderan un 70%, mientras que las del material padre un 30%. El material
 7277 padre es la misma sustancia, pero a escala macrométrica. Así, se da mayor peso a las características a
 7278 nanoescala. La suma de los puntos asignados a cada parámetro es un número entre 0 y 100, y
 7279 corresponderá a una banda severidad clasificada como: baja, media, alta o muy alta.

7280 Escala de Severidad

7281 **0- Severidad baja**

7282 **26-50: Severidad media**

7283 **51-75: Severidad alta**

7284 **76-100: Severidad muy alta**

- 7285 1. **Química superficial:** Se sabe que la química superficial es un factor clave que influye en la toxicidad
 7286 de las partículas inhaladas. La actividad de radicales libres en la superficie de las partículas es el
 7287 principal factor que afecta la reactividad general del material. Los puntos se asignarán con base en
 7288 una evaluación cualitativa de si la reactividad superficial es alta, media o baja. Cuando estén
 7289 disponibles, se consultarán estudios de investigación para realizar esta evaluación.
- 7290 2. **Forma de la partícula:** Los estudios han demostrado que la exposición a partículas fibrosas como el
 7291 asbesto se ha asociado desde hace tiempo con un mayor riesgo de fibrosis y cáncer. Las estructuras
 7292 tubulares, como los nanotubos de carbono, también han demostrado causar inflamación y lesiones
 7293 en pulmones de ratas. Con base en esta información, se asigna la puntuación de mayor severidad a
 7294 partículas con forma fibrosa o tubular. A las partículas con formas irregulares (distintas a tubular o
 7295 fibrosa) se les asigna una puntuación de severidad media porque normalmente tienen áreas
 7296 superficiales más grandes en comparación con partículas isotrópicas (por ejemplo, compactas o
 7297 esféricas).
- 7298 3. **Diámetro de la partícula:** Según la curva de la ICRP, las partículas en el rango de 1-10 nm tienen una
 7299 probabilidad mayor al 80% de depositarse en los pulmones. Las partículas en el rango de 10-40
 7300 nm tienen una probabilidad mayor al 50% de depositarse en los pulmones, y las partículas en el rango
 7301 de 41-100 nm tienen una probabilidad mayor al 20% de depositarse en los pulmones. Basado en esta

7302 capacidad de deposición pulmonar (independientemente de la región de deposición) y el hecho de
7303 que las partículas más pequeñas tienen una mayor área superficial total en comparación con
7304 partículas más grandes para una misma concentración másica, se asignan los puntos a cada rango de
7305 tamaño de partícula para determinar la puntuación de severidad.

7306 4. **Solubilidad:** Varios estudios han demostrado que las nanopartículas inhaladas y poco
7307 solubles pueden causar estrés oxidativo, lo que conduce a inflamación, fibrosis o cáncer. Dado que las
7308 nanopartículas solubles también pueden provocar efectos adversos al disolverse en la sangre, se
7309 asignan puntos de severidad a estas, aunque en menor medida que a las partículas insolubles.

7310 5. **Carcinogenicidad:** Los puntos se asignan en función de si el nanomaterial es carcinógeno o no.

7311 6. **Toxicidad reproductiva:** Los puntos se asignan según si el nanomaterial representa un peligro
7312 reproductivo o no.

7313 7. **Mutagenicidad:** Los puntos se asignan basado en si el nanomaterial es mutagénico o no

7314 8. **Toxicidad dérmica:** Los puntos se asignan según si el nanomaterial es un peligro dérmico o no

7315 9. **Asmogenicidad:** Los puntos se asignan según si el nanomaterial es asmogénico o no

7316 10. **Toxicidad del material padre:** El material padre de algunas nanopartículas tienen límites de
7317 exposición ocupacional (OEL) establecidos. Aunque, se sabe que la toxicidad de las partículas a
7318 nanoescala puede diferir significativamente de sus contrapartes a macroescala, esto proporciona un
7319 buen punto de partida para comprender la toxicidad del material. Los puntos se asignan según el
7320 rango del OEL del material a granel.

7321 11. **Carcinogenicidad:** Los puntos se asignan según si el material padre es cancerígeno o no.

7322 12. **Toxicidad reproductiva:** Los puntos se asignan según si el material padre es un peligro para la
7323 reproducción o no.

7324 13. **Mutagenicidad:** Los puntos se asignan según si el material padre es un mutágeno o no.

7325 14. **Toxicidad dérmica:** Los puntos se asignan según si el material padre es un peligro dérmico o no.

7326 15. **Asmogenicidad:** Los puntos se asignan según si el material padre es un asmogénico o no.

7327
7328 La **Tabla 18-3** presenta un resumen de las puntuaciones propuestas por Zalk et al ^{11, 13, 14}. Cuando se
7329 desconoce un factor, se aplica el principio de precaución, que asigna el 75% del valor más alto ^{14, 75}.

7330

7331

⁷⁵ Johannes Andresen Oldervoll et al. *Guidance on the application of the precautionary principle in the EU*. The Danish Board of Technology (2021)

Tabla 18-3. Factores, puntuación y cálculo de la severidad (tomado de referencia 13)

CALCULO DE LA PUNTUACION DE LA SEVERIDAD

		Bajo	Medio	Desconocido	Alto	
Factores a considerar	Nanopartícula	Química superficial; reactividad y capacidad de inducir radicales libres	0	5	7,5	10
		Forma	0 Esférica o compacta	5 En diferentes formas	7,5	10 Fibrosa o tubular
		Diámetro	0 De 40 a 100 nm	5 De 11 a 40 nm	7,5	10 De 1 a 10 nm
		Solubilidad	0	5 Soluble	7,5	10 insoluble
		Carcinogenicidad (1)	0 No carcinogénica		4,5	6 Carcinogénica
		Toxicidad para la reproducción	0 No		4,5	6 Si
		Mutagenicidad	0 No		4,5	6 Si
		Toxicidad dérmica	0 No		4,5	6 Si
		Capacidad de producir asma	0 No		4,5	6 Si
		Material padre (2)	Toxicidad	2,5 VLA-ED entre 101 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 1 mg/m^3	5 VLA-ED entre 10 y 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	7,5
Carcinogenicidad	0 No carcinogénica			3	4 Carcinogénica	
Toxicidad para la reproducción	0 No			3	4 Si	
Mutagenicidad	0 No			3	4 Si	
Toxicidad dérmica	0 No			3	4 Si	
Capacidad de producir asma	0 No			3	4 Si	

(1) Tanto si es un cancerígeno humano como animal.

(2) El material padre se refiere a un producto con la misma composición, pero un tamaño de partícula mayor para el que suelen existir datos. La puntuación es 0 si el valor límite de larga duración VLA-ED es mayor de 1 mg/m^3 . si no existe un VLA-ED en España (9) se puede acudir a otras listas de valores límites.

7333 18.4.2 Puntuación de la Probabilidad.

7334 Corresponde a la suma de todos los factores de exposición. La puntuación máxima es 100. Estos factores
7335 determinan el grado en el que los empleados pueden estar potencialmente expuestos a materiales a
7336 nanoescala, principalmente por inhalación, pero también por contacto dérmico. Para hacer la estimación
7337 de la exposición, CB Nanotool 2.0 emplea un esquema similar al de la peligrosidad, donde se tienen en
7338 consideración aquellos factores que pueden impactar en la probabilidad de inhalación y de contacto con
7339 la piel.

Escala de Probabilidad:

0-25: Extremadamente improbable

26-50: Poco probable

51-75: Probable

76-100: Muy probable

- 7345 **1. Cantidad estimada de químico utilizado durante la tarea (mg):**
- 7346 **2. Nivel de polvo/niebla (polverulencia):** Los puntos se asignan según la capacidad de generar
- 7347 polvo/neblina del material. Hasta que se disponga de más orientación para cuantificar estos niveles,
- 7348 los puntos se asignarán en función de una estimación relativa. Si se selecciona "**Ninguno**", la
- 7349 puntuación general de probabilidad será automáticamente "**Muy improbable**", independientemente
- 7350 de los demás factores.
- 7351 **3. Número de empleados expuestos:** Los puntos se asignan según la cantidad de empleados autorizados
- 7352 para la actividad.
- 7353 **4. Frecuencia de la operación:** Los puntos se asignan según la frecuencia de la operación.
- 7354 **5. Duración de la operación:** Los puntos se asignan según la duración de la operación (horas, minutos).
- 7355

7356 **Tabla 18-4. Puntuación de factores y estimación de la probabilidad de exposición (tomada de referencia11)**

	BAJO	MEDIO	DESCONOCIDO	ALTO
Cantidad estimada del nanomaterial durante la tarea	6,25 menor de 10 mg	12,5 entre 11 y 100 mg	18,75	25 mayor de 100 mg
Polverulencia/capacidad de formar nieblas	7,5	15	22,5	30
Número de trabajadores con exposición similar¹	5 6-10	10 11-15	11,25	15 >15
Frecuencia de las operaciones²	5 mensual	10 semanal	11,25	15 diario
Duración de la operación³	5 30-60 min	10 1-4 horas	11,25	15 > 4 horas
(1) Para menos de 5 trabajadores la puntuación es cero				
(2) Para una frecuencia menor que mensual la puntuación es cero				
(3) Para una duración inferior a 30 minutos la puntuación es cero				

7357

7358 Al igual que para el cálculo de la severidad, y resguardando el principio de precaución, un dato desconocido

7359 entre los factores que afectan la probabilidad de exposición, se valora con el 75% del puntaje máximo de

7360 la categoría. Como se resume en la Tabla 4, cada uno de los factores obtiene un porcentaje de la

7361 puntuación: alto, medio, bajo o desconocido.

7362 La pulverulencia (o la capacidad de formar nieblas) es un parámetro para el que puede ser complicado

7363 decidir la categoría. Se pueden utilizar como fuentes de información, contadores de nanopartículas, el

7364 conocimiento del proceso u observaciones como la contaminación de las superficies de trabajo. Además,

7365 si dicho parámetro se considera nulo, el riesgo se califica como "extremadamente improbable", ya que, si

7366 el material no pasa al ambiente, el resto de los factores no tienen importancia.

7367

7368

7369 **Tabla 18- 5. Matriz de Riesgo. Riesgo como una función de la probabilidad y la severidad (Adaptado referencia 7)**

SEVERIDAD	PROBABILIDAD			
	Extremadamente improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy probable (76-100)
Muy alta (76-100)	NR3	NR3	NR4	NR4
Alta (51-75)	NR2	NR2	NR3	NR4
Media (26-50)	NR1	NR1	NR2	NR3
Baja (0-25)	NR1	NR1	NR1	NR2

Elaborada en base al Método CB Nanotool 2.0
NR: Nivel de riesgo

- 7370
- 7371 Para cada nivel de riesgo, el método recomienda una medida de control a implementar:
- 7372 **Nivel de Riesgo 1: Ventilación general;**
- 7373 **Nivel de Riesgo 2: Extracción localizada;**
- 7374 **Nivel de Riesgo 3: Confinamiento;**
- 7375 **Nivel de Riesgo 4: Asesoramiento especializado.**
- 7376
- 7377 Para facilitar el cálculo de las bandas de severidad y probabilidad de exposición, el Lawrence Livermore
- 7378 National Laboratory tiene disponible un calculador en su sitio web⁷⁶.
- 7379 Para riesgos clasificados como **NR3-NR4**, el método CB Nanotool 2.0 recomienda **confinamiento** (ej.
- 7380 gabinetes cerrados o sistemas *glovebox* con filtros HEPA), validado por estudios recientes que demuestran
- 7381 su eficacia en la reducción de fugas de nanopartículas.
- 7382 En casos de **NR2**, la **extracción localizada** (campanas con flujo laminar o ventilación forzada) se posiciona
- 7383 como la medida óptima, con eficiencias superiores al 90% en la captación de aerosoles^{77,78}.
- 7384
- 7385 **18.4.3 Campo de Aplicación**
- 7386 El método **CB Nanotool 2.0** se aplica principalmente en trabajos de laboratorio de investigación o
- 7387 producción a pequeña escala con pequeñas cantidades de nanomateriales. Se dispone de cinco escenarios
- 7388 diferentes dentro de los cuales la herramienta asocia los nanomateriales involucrados en cada uno y se
- 7389 hace la valoración de cada parámetro, así como el cálculo del riesgo total:
- 7390 - Síntesis de espuma mezcla nanopartícula metálica y de látex de poliestireno en agua
- 7391 desionizada.

⁷⁶ Lawrence Livermore National Laboratory: *Calculador del método CB Nanotool 2.0*. Disponible en enlace: <https://controlbanding.llnl.gov/>

⁷⁷ NIOSH. National Institute for Occupational Safety and Health. 2018. *Protecting Workers during the Handling of Nanomaterials*

⁷⁸ INSST. NTP 1172 *Nanomateriales: Medidas preventivas en laboratorios de investigación*. 2022

- 7392 - Síntesis en llama de nanopartículas cerámicas.
- 7393 - Síntesis de nanotubos de carbono en sustrato, dentro de un horno tubular.
- 7394 - Consolidación de nanopartículas de cerámica
- 7395 - Preparación de muestras de dióxido de uranio

7396

7397 **18.4.4 Limitaciones**

7398 La disponibilidad de la información toxicológica condiciona en gran medida la estimación de la severidad,
7399 en la mayoría de los casos es limitada. Entonces, cuando la peligrosidad del nanomaterial es desconocida,
7400 lo que determina en gran medida la puntuación de severidad es la morfología y el tamaño del
7401 nanomaterial, así como las propiedades toxicológicas del material padre ⁽¹³⁾.

7402 Ante la ausencia de información toxicológica para valorar la peligrosidad, el método aplica el principio de
7403 precaución, penaliza, y otorga un 75% de valor más alto del factor desconocido, lo que podría resultar en
7404 algunos casos en una sobreprotección sin evidencias científicas suficientes.

7405 En la medida en que se publiquen nuevos datos toxicológicos, la ponderación de los factores podría
7406 cambiar, y también podría cambiar el resultado de la matriz de riesgo del CB Nanotool 2.0. Por tanto, es
7407 importante revisar y actualizar periódicamente la información con los estudios publicados.

7408

7409

7410 **18.5** ANEXOS

7411 **ANEXO1**

7412 A continuación, se presenta un cuestionario diseñado para recoger en forma exhaustiva toda la información que el
7413 encargado de prevención necesita para aplicar la metodología cualitativa de evaluación del riesgo por inhalación a
7414 nanomateriales en los lugares de trabajo ⁷⁹.

ENTIDAD

DIRECCIÓN

ACTIVIDAD PRINCIPAL

NÚMERO DE TRABAJADORES

1 INFORMACIÓN DE LA ACTIVIDAD CON NANOMATERIALES

ACTIVIDAD RELACIONADA CON LOS NANOMATERIALES

Fabricante Investigación y desarrollo Usuario intermedio

CANTIDAD DE NANOMATERIAL PRODUCIDO O UTILIZADO

kg/año g/mes Escala comercial Escala no comercial

PROCESOS DE FABRICACIÓN Y OPERACIONES RELACIONADAS CON LOS NANOMATERIALES

FABRICACIÓN

- Pirólisis de llama
- Deposición de vapor
- Procesos mecánicos
- Evaporación a alta temperatura
- Método fase líquida coloidal
- Método fase líquida sol-gel
- Método fase líquida autoensamblado
- Electropolimerización y electrodeposición
- Síntesis por plasma
- Síntesis en fase gaseosa
- Electrospinning

Otros

MANIPULACIÓN

- Caracterización/análisis de las propiedades del nanomaterial
- Creación de mezclas para formulación
- Creación de mezclas para stock
- Depósito por inmersión
- Depósitos de capa fina metalización
- Extrusión
- Inyección de resinas
- Inducción de resinas
- Pulverización de líquidos en suspensión
- Pulverización de sólidos en suspensión
- Molienda, trituration y aleación

Otros

TIPO DE PROCESO

Continuo Discontinuo regular Discontinuo irregular

NIVEL DE AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO

Automático Semiautomático Manual

TEMPERATURA DEL PROCESO °C

7415

7416 2. INFORMACIÓN RELATIVA AL NANOMATERIAL O AL PRODUCTO CON NANOMATERIAL

⁷⁹ INSST. *Nanomateriales en los lugares de trabajo*. 2018. Recogida de información y medición de la exposición. Disponible en enlace: <https://www.insst.es/documentacion/material-tecnico/documentos-tecnicos/nanomateriales-en-lugares-trabajo-recogida-informacion-medicion-de-exposicion-ano-2018>

NOMBRE

FABRICANTE O IMPORTADOR

TIPO DE NANOMATERIAL

PORCENTAJE DEL NANOMATERIAL EN EL PRODUCTO

> 99 % > 50 % – 99 % > 10 % – 50 % > 1 % – 10 % 0,01 % – 1 % < 0,01 %

NOTA: Indicar la opción >99 % si solamente se manipula el nanomaterial en sí. En caso de que la tarea que se lleve a cabo implique la manipulación de un producto que contiene nanomateriales, indicar el porcentaje de nanomaterial en el mismo.

ESTADO FÍSICO DEL NANOMATERIAL O PRODUCTO CON NANOMATERIAL

<input type="checkbox"/> SÓLIDO		<input type="checkbox"/> LÍQUIDO	
Forma	Pulverulencia	Humedad	Viscosidad
<input type="checkbox"/> Polvo	<input type="checkbox"/> Muy alta (polvo extremadamente fino y ligero)	<input type="checkbox"/> Seco (< 5 %)	<input type="checkbox"/> Baja (como el agua)
<input type="checkbox"/> Gránulos/escamas frágiles	<input type="checkbox"/> Alta (polvo fino)	<input type="checkbox"/> 5 % – 10 %	<input type="checkbox"/> Media (como el aceite)
<input type="checkbox"/> Gránulos /escamas firmes	<input type="checkbox"/> Media (polvo grueso)	<input type="checkbox"/> >10 %	<input type="checkbox"/> Alta (como la pasta, el jarabe)
<input type="checkbox"/> Fibras	<input type="checkbox"/> Desconocida		
<input type="checkbox"/> Embebido en matriz sólida			
<input type="checkbox"/> Suelto			
<input type="checkbox"/> Débilmente unido a la matriz sólida			
<input type="checkbox"/> Fuertemente unido a la matriz sólida			

FORMA DEL NANOMATERIAL

Esférica o compacta Fibrosa o tubular no biopersistente Fibra biopersistente (insoluble > 5 000 nm de longitud) De diferentes formas Desconocida

DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS PRIMARIAS

1 - 10 nm 11 - 40 nm 41 - 100 nm Desconocido

DENSIDAD DEL NANOMATERIAL

g/cm³ kg/cm³

REACTIVIDAD SUPERFICIAL

Baja Media Alta Desconocida

SOLUBILIDAD (agua)

Sí NO Desconocida

FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD

Sí (adjuntar) NO

OBSERVACIONES

TOXICOLOGÍA DEL NANOMATERIAL

¿Se conoce la toxicología del nanomaterial? Sí NO

En caso afirmativo, cumplimentar la parte siguiente del cuestionario.

Cancerígeno	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Tóxico para la reproducción	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Mutágeno	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Toxicidad dérmica	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Asmágeno	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido

TOXICOLOGÍA DEL MATERIAL PADRE

Cancerígeno	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Tóxico para la reproducción	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Mutágeno	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Toxicidad dérmica	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido
Asmágeno	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> Desconocido

VALOR LÍMITE DEL NANOMATERIAL Fuente Desconocido

VALOR LÍMITE DEL MATERIAL PADRE (VLA-ED®) mg/m³ F. respirable F. inhalable

INDICACIONES DE PELIGRO

<input type="checkbox"/> H300	<input type="checkbox"/> H301	<input type="checkbox"/> H302	<input type="checkbox"/> H304	<input type="checkbox"/> H310	<input type="checkbox"/> H311	<input type="checkbox"/> H312	<input type="checkbox"/> H314
<input type="checkbox"/> H315	<input type="checkbox"/> H317	<input type="checkbox"/> H318	<input type="checkbox"/> H319	<input type="checkbox"/> H330	<input type="checkbox"/> H331	<input type="checkbox"/> H332	<input type="checkbox"/> H334
<input type="checkbox"/> H335	<input type="checkbox"/> H336	<input type="checkbox"/> H340	<input type="checkbox"/> H341	<input type="checkbox"/> H350	<input type="checkbox"/> H350i	<input type="checkbox"/> H351	<input type="checkbox"/> H360
<input type="checkbox"/> H360D	<input type="checkbox"/> H360Df	<input type="checkbox"/> H360F	<input type="checkbox"/> H360FD	<input type="checkbox"/> H360Fd	<input type="checkbox"/> H361	<input type="checkbox"/> H361d	<input type="checkbox"/> H361f
<input type="checkbox"/> H361fd	<input type="checkbox"/> H362	<input type="checkbox"/> H370	<input type="checkbox"/> H371	<input type="checkbox"/> H372	<input type="checkbox"/> H373		

7418

7419

BORRADOR

3 INFORMACIÓN RELATIVA A LA TAREA

DESCRIPCIÓN

UBICACIÓN DE LA TAREA Interior Exterior

DIMENSIONES DEL LOCAL m (largo) m (ancho) m (alto)

NÚMERO DE TRABAJADORES EN EL LOCAL

DURACIÓN DE LA TAREA DENTRO DE LA JORNADA

Hora de inicio Hora de finalización
 De 1 a 30 minutos De media hora a 2 horas al día De 2 a 4 horas al día De 4 a 8 horas al día

NÚMERO DE REPETICIONES DE LA TAREA DENTRO DE LA JORNADA

FRECUENCIA DE LA TAREA

4 o 5 días en semana 2 o 3 días en semana 1 día a la semana 1 día cada 2 semanas 1 vez al mes 1 vez al año

NÚMERO DE TRABAJADORES INVOLUCRADOS EN LA TAREA CON NANOMATERIALES

DISTANCIA DEL TRABAJADOR AL FOCO DE EMISIÓN m

CANTIDAD DE PRODUCTO UTILIZADO EN LA TAREA mg g kg t ml l m³

NIVEL DE AGITACIÓN O ENERGÍA APLICADA EN LA TAREA

Alto ⁽¹⁾ Medio ⁽²⁾ Bajo ⁽³⁾

⁽¹⁾ (Mezclado mecánico a alta velocidad, vertido del producto desde big bags, pulverización de productos utilizando alta presión o pintura en spray, ebullición de líquidos, mezcla de productos a gran velocidad).

⁽²⁾ (Vertido manual de bolsas, mezclado mecánico a baja velocidad, inmersiones rápidas y sin cuidado, tanques de aireación, galvanoplastia).

⁽³⁾ (Inmersiones precisas, lentas y controladas; mezclado o tamizado manual del producto).

OBSERVACIONES

7420

7421

4. MEDIDAS DE CONTROL

4.1. AISLAMIENTO O CONFINAMIENTO

Completo Parcial Ninguno

4.2. SEGREGACIÓN

sí NO

NOTA: Segregación: separar el proceso de manipulación de nanomateriales del resto de procesos.

4.3. REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN

MÉTODOS HÚMEDOS sí NO

OBSERVACIONES

4.4. EXTRACCIÓN LOCALIZADA

Integrada (en máquina o herramienta) Cabina de seguridad biológica Cabina de flujo laminar Vitrina de gases Campana suspendida Ninguna

DISPONE DE FILTRO Sí NO

TIPO DE FILTRO HEPA Tipo ULPA Otro (especificar)

VELOCIDAD DE CAPTURA (m/s) < 0,25 de 0,25 a 0,50 de 0,50 a 1 de 1 a 2,5 de 2,5 a 10

INSPECCIÓN Y MANTENIMIENTO REGULAR DE LOS EQUIPOS Sí NO

Periodicidad Anual Semestral Trimestral Otra (especificar)

OBSERVACIONES (deflectores, pestañas, dimensiones, eficacia, etc.)

4.5. VENTILACIÓN GENERAL

Ventilación natural y mecánica Ventilación mecánica Ventilación natural Sin ventilación

DISPONE DE FILTRO Sí NO

TIPO DE FILTRO HEPA Tipo ULPA Otro (especificar)

RECIRCULACIÓN DEL AIRE Sí NO

CAUDAL OPERATIVO (renovaciones/hora) 6 o menos de 6 a 8 de 8 a 10 de 10 a 12 de 12 a 15 > 15

4.6. ORDEN Y LIMPIEZA

Buena Regular Mala

NOTA: Buena: limpieza con procedimientos apropiados (aspirador con filtro HEPA). Regular: prácticas de limpieza generales. Mala: no hay prácticas específicas.

SE REALIZA LIMPIEZA DIARIA SÍ NO

OBSERVACIONES (Descripción del procedimiento de limpieza)

4.7. EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL

PROTECCIÓN RESPIRATORIA

SÍ NO

Mascarilla autofiltrante FFP2 FFP3

Mascarilla con filtro P2 P3

Máscara con filtro P2 P3

Equipo de ventilación asistida. Mascarilla/máscara con filtro TM1P TM2P TM3P

Equipo de ventilación asistida. Capuz o casco con filtro TH1P TH2P TH3P

Otro (especificar)

PROTECCIÓN OCULAR

SÍ NO

Gafas de montura universal 

Pantalla facial

Gafas de montura integral 

Líquido Polvo Gas

GUANTES DE PROTECCIÓN

SÍ NO

Desechables SÍ NO

Uso de doble guante SÍ NO

Material Nitrilo Neopreno Butilo PVC PVA Látex

Otro (especificar)

ROPA DE PROTECCIÓN

SÍ NO

Desechable SÍ NO

Traje Tipo 4 (líquidos pulverizados) Traje Tipo 5 (partículas sólidas en suspensión) Traje Tipo 6 (salpicaduras de líquidos)

Otro (especificar)

OBSERVACIONES (Tipos de EPI no contemplados)

4.8. MEDIDAS ORGANIZATIVAS

¿Se ha informado al trabajador sobre los riesgos específicos de los Nanomateriales? SÍ NO

¿Los trabajadores han recibido formación y entrenamiento sobre manipulación segura de los Nanomateriales? SÍ NO

¿El trabajador ha recibido formación sobre el uso correcto de los EPI? SÍ NO

¿El trabajador con Equipo de Protección Respiratoria ha realizado el ensayo de ajuste? SÍ NO

7423

7424

7425 **ANEXO 2.**

7426 **Ejemplos de aplicación**

7427 **EJEMPLO 1.** Tomado de referencia 10

7428 En una empresa, manejan y embolsan un producto llamado Alox, cuyo principal componente (75%) son
 7429 nanopartículas de óxido de aluminio (Al_2O_3). Las características de las nanopartículas son las siguientes: -
 7430 Estado en forma de polvo seco - Forma esférica - Diámetro 60 nm - Insoluble - Química superficial alta -
 7431 Pulverulencia 300 mg/kg - Baja aglomeración - De acuerdo con estudios realizados, es tóxica en contacto
 7432 con la piel. - El material padre no está clasificado como CMR o S. El óxido de aluminio de tamaño no
 7433 nanométrico (material padre) tiene un VLA-ED de 10 mg/m³. La jornada es de siete horas efectivas de lunes
 7434 a viernes, y se embolsa 1 kg por hora. La nave donde se realiza el trabajo tiene un volumen de 500 m³ y en
 7435 ella trabajan 10 personas. Dispone de ventilación mecánica y extracción localizada en aquellos puntos
 7436 donde se espera que la exposición a nanopartículas pueda ser mayor, ya que los operarios se encuentran
 7437 cerca de los focos de exposición.
 7438

Tabla. 1A CALCULO DE LA PUNTUACIÓN DE SEVERIDAD

PARAMETRO	CATEGORÍA	PUNTUACIÓN
Reactividad de la superficie	Alta	10
Forma de la nanopartícula	Esférica	0
Diámetro de la nanopartícula	60 nm	0
Solubilidad	Insoluble	10
Carcinogenicidad de la nanopartícula	No	0
Toxicidad para la reproducción de la nanopartícula	No	0
Mutagenicidad de la nanopartícula	No	0
Toxicidad dérmica de la nanopartícula	Sí	6
Capacidad de generar asma de la nanopartícula	No	0
Toxicidad del material padre	>100 µg/m ³	0
Carcinogenicidad del material padre	No	0
Toxicidad para la reproducción del material padre	No	0
Mutagenicidad del material padre	No	0
Toxicidad dérmica del material padre	No	0
Capacidad de generar asma del material padre	No	0
PUNTUACIÓN DE SEVERIDAD		26 MEDIA

7439

Tabla. 1B CALCULO DE LA PUNTUACIÓN DE PROBABILIDAD

PARAMETRO	CATEGORÍA	PUNTUACIÓN
Cantidad de producto	> 100 mg	25
Pulverulencia	Alta	30
Número de trabajadores expuestos	6-10	5
Frecuencia de la operación	Diaria	15
Duración de la operación	> 4 horas	15
PUNTUACIÓN DE PROBABILIDAD		90 MUY PROBABLE

7440

7441

7442 Como resultado de la evaluación, la severidad obtenida es “media” (Tabla 1A, puntaje = 26), y la probabilidad de
 7443 exposición “muy probable” (Tabla 1B, puntaje = 90), se concluye un nivel de riesgo 3 para el que se recomienda el
 7444 “confinamiento” como medida de control a implementar (Tabla 1C).

Tabla 1C. MATRIZ DE RIESGOS

SEVERIDAD	PROBABILIDAD			
	Extremadamente improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy probable (76-100)
Muy alta (76-100)	NR3	NR3	NR4	NR4
Alta (51-75)	NR2	NR2	NR3	NR4
Media (26-50)	NR1	NR1	NR2	NR3
Baja (0-25)	NR1	NR1	NR1	NR2

Elaborada en base al Método CB Nanotool 2.0

NR: Nivel de riesgo

7445

7446 **EJEMPLO 2.** Tomado de referencia 14.

7447 Molienda de nitruro de silicio hasta 50 nm en un mortero en vitrina de gases. Esta técnica se utiliza en
 7448 proyectos de tecnologías de materiales cuyo objetivo es investigar el cambio de las propiedades físico-
 7449 químicas de estos (conductividad térmica o eléctrica, puntos de fusión o ebullición, etc.) cuando se
 7450 incorporan nanomateriales en su composición. Para ello se parte de un elemento o compuesto sólido
 7451 conocido que es sometido a diferentes procesos mecánicos (trituration y molienda, entre otros) hasta
 7452 conseguir partículas de tamaño nanométrico, y finalmente se hace pasar por un tamiz para separar las
 7453 partículas obtenidas según su tamaño. Estos procesos se llevan a cabo en vitrina de gases para evitar que
 7454 las nanopartículas generadas se dispersen al ambiente de trabajo. Tras el proceso mecánico, los
 7455 nanomateriales obtenidos se incorporan a la sustancia cuyo comportamiento físico-químico se va a
 7456 estudiar mediante diferentes técnicas, de manera que el producto resultante es una nueva mezcla con
 7457 nanomateriales incorporados en su interior. En esta técnica, el proceso que conlleva un mayor riesgo de
 7458 exposición a nanomateriales es el proceso mecánico de generación de nanomateriales. Por ello, se ha
 7459 aplicado la metodología CB Nanotool de evaluación a la fase de molienda, en particular, de nitruro de
 7460 silicio con un tamaño de 50 nm hasta una cantidad neta de 100 mg, tarea que se realiza todas las semanas
 7461 durante un tiempo aproximado de 2 horas. En la tabla 2A, 2B se expone toda la información
 7462 correspondiente a este proceso mecánico de molienda y las puntuaciones asociadas a los factores
 7463 considerados en la evaluación. Como resultado de la aplicación del método CB Nanotool, se obtiene una
 7464 puntuación de severidad de 45 (“media”) y de probabilidad de 55 (“probable”), lo que arroja un nivel de
 7465 riesgo 2, para el que se recomienda la “extracción localizada” como medida de control a implementar
 7466 (Tabla 2C).

7467

7468

Tabla. 2A CALCULO DE LA PUNTUACIÓN DE SEVERIDAD		
PARAMETRO	CATEGORÍA	PUNTUACIÓN
Reactividad de la superficie	Desconocido	7,5
Forma de la nanopartícula	Esférica	0
Diámetro de la nanopartícula	50 nm	0
Solubilidad	Desconocido	7,5
Carcinogenicidad de la nanopartícula	Desconocido	4,5
Toxicidad para la reproducción de la nanopartícula	Desconocido	4,5
Mutagenicidad de la nanopartícula	Desconocido	4,5
Toxicidad dérmica de la nanopartícula	Desconocido	4,5
Capacidad de generar asma de la nanopartícula	Desconocido	4,5
Toxicidad del material padre	Sin VLA	7,5
Carcinogenicidad del material padre	No	0
Toxicidad para la reproducción del material padre	No	0
Mutagenicidad del material padre	No	0
Toxicidad dérmica del material padre	No	0
Capacidad de generar asma del material padre	No	0
PUNTUACIÓN DE SEVERIDAD		45 MEDIA

7469

Tabla. 2B CALCULO DE LA PUNTUACIÓN DE PROBABILIDAD		
PARAMETRO	CATEGORÍA	PUNTUACIÓN
Cantidad de producto	100 mg	12,5
Pulverulencia	Desconocido	22,5
Número de trabajadores expuestos	3	0
Frecuencia de la operación	Semanal	10
Duración de la operación	2 horas	10
PUNTUACIÓN DE PROBABILIDAD		55 MUY PROBABLE

7470

Tabla 2C. MATRIZ DE RIESGOS				
SEVERIDAD	PROBABILIDAD			
	Extremadamente improbable (0-25)	Poco probable (26-50)	Probable (51-75)	Muy probable (76-100)
Muy alta (76-100)	NR3	NR3	NR4	NR4
Alta (51-75)	NR2	NR2	NR3	NR4
Media (26-50)	NR1	NR1	NR2	NR3
Baja (0-25)	NR1	NR1	NR1	NR2
Elaborada en base al Método CB Nanotool 2.0 NR: Nivel de riesgo				

7471

7472



7473 **CAPITULO IXX**

7474 **USO DEL DINAMÓMETRO EN ENTORNOS LABORALES.**

7475

7476

7477 **19.1 INTRODUCCIÓN:**

7478 El presente protocolo proporciona información técnica y estandarizada a profesionales de la prevención
7479 de riesgos, salud ocupacional y ergonomía, que requieran cuantificar la magnitud de las fuerzas aplicadas
7480 por las personas trabajadoras, en especial en tareas de empuje y arrastre, así como en el levantamiento
7481 de cargas. Facilitar la implementación de mediciones reproducibles, que permitan trazabilidad, teniendo
7482 en consideración factores biomecánicos como la posición del operador, ángulo de empuje, altura de
7483 agarre, superficie de contacto y condiciones del piso, así como la gestión de la incertidumbre relacionada
7484 a la instrumentación, el usuario y el entorno laboral, es la finalidad del presente documento.

7485 La utilización de este protocolo permite evaluar y priorizar intervenciones, fortaleciendo la gestión
7486 preventiva del riesgo asociado al manejo manual de cargas, complementando la metodología indicada en
7487 la Guía Técnica para la Evaluación y Control de Riesgos Asociados al Manejo o Manipulación Manual de
7488 Carga del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, que aporta procedimientos y criterios técnicos para la
7489 evaluación específica de tareas de empuje y arrastre, contribuyendo a reducir la incidencia de trastornos
7490 musculoesqueléticos, optimizar decisiones preventivas basadas en evidencia y asegurar el cumplimiento
7491 normativo, beneficiando tanto la salud de las personas trabajadoras como la eficiencia operativa de las
7492 organizaciones.

7493 La medición con dinamómetro en el lugar de trabajo o en terreno requiere de una técnica de medición
7494 correcta, determinada por variables que se deben tener en cuenta al realizar la medición, evitando errores
7495 que derivan en una medición inexacta o imprecisa. Es necesario practicar la correcta técnica de medición,
7496 así como planificar las mediciones, detectar situaciones de mayor riesgo y los momentos más críticos en
7497 cuanto a la carga a mover y la fuerza a realizada.

7498

7499 **19.2 OBJETIVO.**

7500 Establecer la metodología para determinar la magnitud de la fuerza realizada por las personas trabajadoras
7501 en los lugares de trabajo, a través del uso correcto del dinamómetro.

7502

7503 **19.3 POBLACIÓN OBJETIVO Y USUARIOS.**

7504 Personas trabajadoras que se desempeñan en procesos y tareas relacionadas al manejo de carga ya sea
7505 realizando levantamiento y transporte manual, y en especial en el empuje y arrastre de carga.

7506 Los principales usuarios son los profesionales de la seguridad y salud ocupacional del trabajo, con
7507 formación en ergonomía y que realizan gestión en el ámbito de los trastornos músculo esqueléticos
7508 relacionados al trabajo.

7509

7510 **19.4 DEFINICIONES.**

7511 **Dinamómetro.** Instrumento utilizado para medir o determinar la magnitud de las fuerzas realizadas por
7512 una persona, en tareas de empuje, arrastre, levantamiento y descenso de algún tipo de carga.

7513 **Fuerza de Empuje.** Esfuerzo físico humano, donde la fuerza motriz se dirige hacia el cuerpo u objeto a
7514 mover; la fuerza se realiza hacia fuera del cuerpo del trabajador, y comúnmente la persona se mantiene o
7515 mueve hacia delante.

7516 **Fuerza de Arrastre.** Esfuerzo físico humano, donde la fuerza motriz se encuentra al frente del cuerpo u
7517 objeto a mover y la fuerza se realiza hacia el cuerpo del trabajador, y comúnmente la persona se mantiene
7518 o mueve hacia atrás.

7519 **Fuerza Inicial:** Fuerza aplicada para poner en movimiento un objeto (es decir, la fuerza requerida para
7520 acelerar el objeto). Se utiliza para superar la inercia del objeto, tanto al iniciar o bien cambiar la dirección
7521 de movimiento. Cuantas más maniobras o detenciones se deban realizar, más veces se deberá aplicar esta
7522 fuerza inicial.

7523 **Fuerza de sustentación.** Es la fuerza que se utiliza para mantener en movimiento un objeto en cierta
7524 trayectoria.

7525 **Fuerza pico (peak force).** Es el máximo valor de fuerza registrado por el dinamómetro durante una fase
7526 definida de la tarea, por ejemplo, al inicio de movimiento o durante la operación, representando la mayor
7527 exigencia mecánica que el trabajador/a debe generar para vencer la inercia, fricción o resistencias del
7528 sistema.

7529 **Norma ISO 11228-1:2021.** Establece límites de carga recomendados y los criterios de seguridad para
7530 la manipulación manual de cargas en el entorno laboral. Su objetivo es reducir el riesgo de lesiones en la
7531 espalda y trastornos musculoesqueléticos derivados del levantamiento y transporte de peso Proporciona
7532 requisitos y recomendaciones para el manejo manual de cargas, incluyendo la evaluación de la tarea, la
7533 selección de técnicas y equipos de manejo, las recomendaciones ergonómicas para la postura y la técnica,
7534 la formación y capacitación de los trabajadores, y el monitoreo y evaluación del desempeño. Al
7535 implementar los requisitos y recomendaciones de la norma, los empleadores pueden ayudar a prevenir
7536 lesiones y mejorar la salud y seguridad de los trabajadores en el lugar de trabajo.

7537 **Norma ISO 11228-2:2007.** Establece los límites recomendados para el empuje y la tracción de todo el
7538 cuerpo. Ofrece orientación sobre la evaluación de los factores de riesgo considerados importantes para el
7539 empuje y la tracción manual, lo que permite evaluar los riesgos para la salud de la población activa. Las
7540 recomendaciones se aplican a la población activa adulta sana y ofrecen una protección razonable a la
7541 mayoría de esta población. Estas directrices se basan en estudios experimentales de tareas de empuje y
7542 tracción y los niveles asociados de carga musculoesquelética, malestar/dolor y resistencia/fatiga. Empujar
7543 y tirar, tal como se define en la norma, se limita a lo siguiente: esfuerzos de fuerza con todo el cuerpo (es
7544 decir, estando de pie o caminando); acciones realizadas por una persona; fuerzas aplicadas con dos manos;
7545 fuerzas utilizadas para mover o sujetar un objeto; fuerzas aplicadas de forma suave y controlada; fuerzas
7546 aplicadas sin el uso de soporte(s) externo(s); fuerzas aplicadas sobre objetos ubicados frente al operador;
7547 fuerzas aplicadas en posición vertical (no sentado)

7548 **Tablas de Snook y Ciriello.** Proporciona directrices para la evaluación y el diseño de tareas con
7549 manipulación manual de cargas considerando las limitaciones y capacidades de los trabajadores. Las tablas
7550 definen el peso máximo aceptable, que corresponde al mayor peso que una persona puede manipular a
7551 una frecuencia dada y durante determinado tiempo, sin llegar a estresarse o a cansarse excesivamente. El
7552 peso máximo aceptable se refiere al peso de la carga, cuando la manipulación es un levantamiento,
7553 descenso o sostenimiento, como a la fuerza ejercida cuando la manipulación es un empuje o un arrastre.

7554 Existen tablas para el levantamiento para hombres, levantamiento para mujeres, descarga para hombres,
7555 descarga para mujeres, arrastre para hombres, arrastre para mujeres, empuje para hombres, empuje para
7556 mujeres y transporte para hombres/mujeres. De lo anterior se depende que la determinación de la fuerza
7557 ejercida debe realizarse mediante un dinamómetro.

7558 **Fuerza.** Exigencia física generada por el trabajo muscular realizado por el trabajador. Esfuerzo físico que
7559 demanda trabajo muscular que puede o no sobrepasar la capacidad individual para realizar una acción
7560 determinada o una secuencia de acciones, cuyo resultado puede significar la aparición de fatiga muscular.

7561 **Postura.** Posiciones de los segmentos corporales o articulares que se requieren para ejecutar una tarea.

7562 **Frecuencia y duración de una acción.** Cuando se empuja y arrastra una carga, se deben considerar tanto
7563 la frecuencia y la duración de la fuerza aplicada. Esfuerzos de larga duración deben evitarse, así como los
7564 de alta repetitividad, entre otras cosas porque las fuerzas iniciales serán más frecuentes, en ambos casos
7565 se puede generar una mayor sobrecarga en el sistema musculo esquelético.

7566 **Distancia de desplazamiento de empuje y arrastre.** Las distancias de desplazamiento de cargas pueden
7567 variar significativamente entre distintas tareas y durante la jornada de trabajo. Distancias mayores de
7568 desplazamiento, junto con las fuerzas y los movimientos frecuentes pueden provocar fatiga con facilidad.
7569 Por ejemplo, largas distancias podrían implicar múltiples movimientos de corrección, alteración de la
7570 trayectoria y/o detención por parte del trabajador, y por lo tanto el aumento de las demandas de fuerza.

7571 **Altura de agarre.** Es la distancia medida desde el suelo al punto de sujeción del carro u objeto para su
7572 desplazamiento. Normalmente esta altura está determinada por la altura de las asas o de la barra de
7573 agarre. Si la altura de agarre es inadecuada ya sea muy alta o muy baja, esta situación puede influir en la
7574 eficiencia del mismo empuje y arrastre, y afectar la salud y el rendimiento del trabajador.

7575

7576 19.5 REQUISITOS / CARACTERÍSTICAS

7577

7578 **1. Del evaluador.** Los requisitos están relacionados a las características y condiciones permiten al
7579 evaluador/usuario proceder de forma estandarizada, permitiendo consistencia de los resultados, así
7580 como comparabilidad y trazabilidad. El usuario del dinamómetro, debe ser un profesional que se
7581 desempeñe en el ámbito de la salud ocupacional y/o prevención de riesgos con conocimiento y
7582 experiencia en la medición de fuerzas mediante el uso del dinamómetro. Idealmente debe contar con
7583 formación en ergonomía, y conocimientos de aspectos biomecánicos en el trabajo, lo cual facilita la
7584 medición, el análisis de los resultados y las medidas de intervención a adoptar

7585 En cuanto a las características y conocimientos del evaluador, debe ser capaz de obtener información
7586 relevante y crítica para generar una prueba correcta, determinado no solo por la magnitud de la fuerza
7587 desarrollada, sino también por la organización del trabajo, lo que implica que el trabajador describa
7588 como realiza su tarea, cerciorándose que este use sus elementos de protección personal u otros
7589 dispositivos que habitualmente utiliza.

- 7590 - Conocer el funcionamiento y especificaciones técnicas del dinamómetro a utilizar.
7591 - Conocer el estado actual de mantenimiento y calibración del dinamómetro a utilizar.
7592 - Ser capaz de operar y configurar correctamente las unidades de medida, modos de registro, así
7593 como, seleccionar y montar los accesorios correspondientes en el dinamómetro.
7594 - Saber reconocer los factores biomecánicos, ambientales y de seguridad que afectan la operación
7595 del dinamómetro y la integridad de la persona a evaluar.

- 7596 - Conocimiento de la técnica correcta de medición con Dinamómetro, lo que se encuentra
7597 expresado en este protocolo.
7598 - Empatía con el trabajador(a), generando confianza, dando instrucciones adecuadas para
7599 reconocer con exactitud y precisión las características de la tarea y posturas que adopta el
7600 trabajador al movilizar la carga.

7601
7602 **2. De la Instrumentación.** La medición de la magnitud de la fuerza realizada, se efectuará con un
7603 dinamómetro, que como mínimo:

- 7604 - Permita determinar la fuerza inicial y la de sustentación
7605 - Permita mediciones peak, (fijación de lectura) para fuerza inicial y máxima.
7606 - Permita medir empuje y arrastre, señalándolo en la lectura.
7607 - Permita su uso con distintos accesorios según la tarea a evaluar.

7608 Calibración y mantención periódica. El dinamómetro deberá calibrarse periódicamente de acuerdo a
7609 las instrucciones dadas por el fabricante, lo que implica contar con el certificado o manual
7610 correspondiente.

7611 Calibración en Terreno. El equipo deberá ser calibrado antes de iniciar la medición, de acuerdo a las
7612 instrucciones entregadas por el fabricante. Muchos equipos incorporan un sistema de auto
7613 calibración. En general las condiciones ambientales como temperatura, presión y humedad relativa,
7614 presentes en el lugar de la evaluación no afectan mayormente al equipo, pero se debe verificar según
7615 las instrucciones del fabricante.

7616 Se recomienda que, al finalizar la jornada en terreno, se realice una verificación de la calibración, es
7617 decir una comparación entre el valor de la calibración obtenido al inicio y el valor al finalizar la jornada,
7618 recomendándose su revisión o envío al servicio técnico correspondiente, cuando se detecten
7619 descalibraciones habituales.

7620 Chequeo del equipo. Se debe realizar un constante chequeo de las condiciones del equipo, revisando
7621 el estado funcional de este y que posea todas sus partes y accesorios, evitando situaciones que afecten
7622 o interrumpan la medición.

7623 Verificación de las Baterías En los dinamómetros digitales, antes de cada medición, debe verificarse la
7624 presencia y la carga de las baterías o pilas, para que la medición no sea interrumpida por esta causa.

7625
7626 **3. Características de un Dinamómetro tipo y sus accesorios.** Existen diversos tipos de dinamómetros y
7627 sus partes específicas también varían entre cada tipo, sin embargo, la categoría de Dinamómetros
7628 mecánicos y digitales comparten principios básicos de funcionamiento, pero difieren en cómo
7629 presentan las mediciones y fundamentalmente cómo funcionan internamente. Los modelos digitales
7630 incorporan sensores electrónicos, placas de circuito y pantallas que reemplazan el sistema mecánico
7631 análogo. Difieren también en función de la precisión, el almacenamiento de datos, y la conexión a
7632 sistemas informáticos para su análisis.

7633

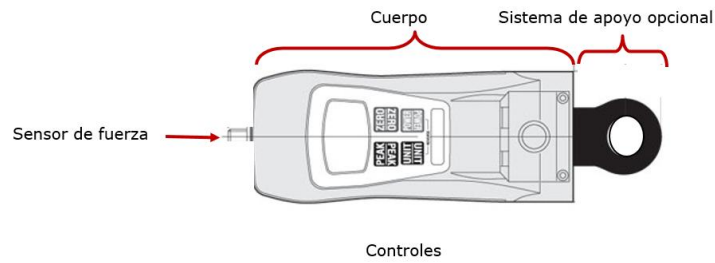
7634

7635

7636

7637

Figura 19-1. Dinamómetro digital



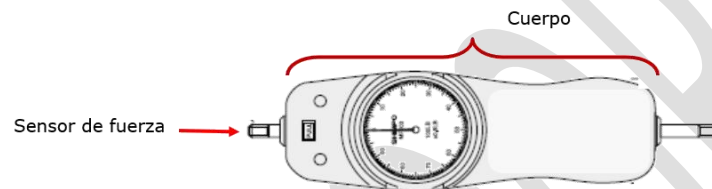
7638

7639

7640

7641

Figura 19-2. Dinamómetro mecánico



7642

7643

Figura 19-3. Tipos de Dinamómetros o sistema de medición de fuerzas.



7644

7645

7646

Figura 19-4. Accesorios más comunes de un Dinamómetro



7647

7648

7649 Estos accesorios facilitan la fijación del sensor al carro u objeto, por ejemplo, las cadenas y los
7650 ganchos se utilizan para las tareas donde se ejecute una tracción o arrastre, así como colgar o
7651 levantar objetos.

7652 En cambio, los accesorios de contacto, son para asirse firmemente a un punto determinado,
7653 evitando que estos resbalen o se muevan de posición y se usan especialmente en las tareas de
7654 empuje de carga.

7655

7656 **4. Del entorno de trabajo, del ambiente y de las personas evaluadas.**

7657 Características de los objetos:

- 7658 - Si el objeto a mover (carro, sillas, portones, etc) posee ruedas, éstas deben ser las adecuadas para
- 7659 la tarea realizada y deben estar en buen estado.
- 7660 - Un objeto que restringe la visibilidad del operador presenta riesgos cuando se empuja, siendo en
- 7661 estas situaciones, preferible tirar del objeto.
- 7662 - Habitualmente es conveniente dotar al objeto a mover (por ejemplo: estructura un carro) de asas
- 7663 o barras verticales largas (amplias), con el fin de dar a los usuarios la oportunidad de elegir la altura
- 7664 que permita una mayor comodidad y menor esfuerzo.
- 7665 - Para los objetos sin ruedas, se debe reducir la fricción.
- 7666 - La fuerza debe ser aplicada sobre el objeto de una manera adecuada y segura.

7667 Condiciones ambientales:

- 7668 - La superficie sobre la que se mueve el objeto debe ser adecuada para movilizar el objeto. Las
- 7669 rampas, los planos inclinados y los pasos estrechos, aumentan el esfuerzo físico para empujar o
- 7670 tirar de un objeto, lo que aumenta la carga de trabajo sobre el sistema músculo-esquelético y el
- 7671 riesgo de lesiones.
- 7672 - Las superficies mojadas, cubiertas con polvo u otro agente y las irregularidades del terreno,
- 7673 pueden representar un factor de riesgo para el trabajador.
- 7674 - Las vibraciones, la iluminación inadecuada y los ambientes fríos o calurosos imponen una carga
- 7675 adicional al trabajador.
- 7676 - Los zapatos utilizados por los trabajadores deben proporcionar un adecuado soporte y tracción,
- 7677 siendo de fundamental importancia al realizar tareas de empuje y arrastre de carga.

7678 Características individuales y organizacionales:

- 7679 - Las habilidades y capacidades individuales, así como la formación, edad, sexo y estado de salud
- 7680 son características importantes a tener en cuenta en las todas las actividades relacionadas a la
- 7681 realización de esfuerzos físicos.
- 7682 - La formación puede aumentar el nivel de habilidad y capacidad para llevar a cabo una tarea
- 7683 evitando sobreesfuerzos y evitando lesiones.
- 7684 - La organización del trabajo puede modificar el riesgo de sufrir lesiones y la realización de las tareas.
- 7685 - Los trabajadores deben ser entrenados en cómo realizar las tareas con seguridad y cómo
- 7686 reconocer los factores de riesgo y peligros tanto en el lugar de trabajo, en las tareas que realizan
- 7687 y en las condiciones de los equipos utilizados.

7688

7689

7690 **19.6 UTILIZACIÓN DEL DINAMÓMETRO**

7691 La utilización correcta de dinamómetro en el lugar de trabajo o en terreno, es necesaria para tener una
7692 aproximación a la magnitud de la fuerza realizada por el trabajador. La técnica de medición, está
7693 determinada por variables que se deben tener en cuenta a la hora de realizar la medición, las cuales se
7694 exponen en este documento. Por ejemplo, tener en cuenta que es necesario practicar la correcta técnica
7695 de medición, para evitar errores que pueden resultar en una medición inexacta e imprecisa. También es
7696 necesario realizar una planificación previa y observación detallada de las tareas realizadas, detectando las
7697 situaciones de mayor riesgo para los trabajadores y los momentos más críticos de la jornada en cuanto a
7698 la carga a mover o fuerza a realizar. Lo anterior puede ser corroborado previamente mediante una
7699 entrevista a los propios trabajadores y supervisores.

7700 La medición de las fuerzas realizadas por el trabajador en las maniobras de empuje y arrastre son
7701 abordadas con mayor exhaustividad en este documento, debido a que se consideran como una condición
7702 necesaria de medir y evaluar a la hora de determinar el riesgo a que están expuestos los trabajadores y
7703 establecer las medidas correctivas, así como para su seguimiento, entre otras cosas.

7704 A continuación, se exponen las condiciones y características a tener en cuenta en la correcta técnica de
7705 medición al utilizar un dinamómetro, lo que permite a los evaluadores proceder de una forma
7706 estandarizada, permitiendo consistencia de los resultados, y comparabilidad en el tiempo por el mismo u
7707 otro evaluador.

7708 **1. Consideraciones previas a la medición.**

7709 Un conocimiento suficiente de la organización, tanto de los procesos productivos, las tareas realizadas, los
7710 procedimientos de ejecución, las materias primas y equipos, el número de trabajadores que desempeñan
7711 la tarea, la presencia de lesiones o quejas, la edad, sexo, tiempo de exposición, la organización de los
7712 turnos y horarios de trabajo y otros aspectos que caractericen la labor, así como las operaciones no
7713 rutinarias e intermitentes como el mantenimiento, limpieza y cambios en los ciclos de producción,
7714 permiten una acabada comprensión de las tareas realizadas. Es importante no limitarse a estudiar los
7715 manuales de trabajo, sino lo que realmente sucede en el lugar de trabajo.

7716 Los trabajadores a menudo realizan una variedad de tareas, por lo cual no es fácil determinar todas las
7717 actividades que se realizan durante la jornada laboral.

7718 Para efectos de este protocolo, es necesario identificar o reconocer tareas relacionadas con el
7719 levantamiento o descenso de carga, así como las tareas de empuje y arrastre, para proceder a su
7720 evaluación. El levantamiento de información puede involucrar un tiempo considerable, dicho
7721 reconocimiento se debe realizar previo a la medición, en especial si se considera evaluar varios puestos de
7722 trabajo.

7723 El reconocimiento debe generar la siguiente información:

- 7724 a. Determinar los puestos de trabajo susceptibles de ser evaluados. Para esto se deben realizar
7725 observaciones de los puestos de trabajo, incluyendo entrevistas a los supervisores y trabajadores,
7726 determinando así, aquellas tareas susceptibles de evaluar.
- 7727 b. Se recomiendan observaciones y análisis continuo de las tareas seleccionadas por un periodo que
7728 resulte en el reconocimiento de los aspectos más críticos asociados al empuje y arrastre, detallando:
- 7729 - Actividad o tarea que se realiza en el puesto de trabajo. En el caso que se realice más de una
7730 actividad o tarea, se deberá establecer claramente cada una de ellas.
 - 7731 - Cantidad y sexo de trabajadores que realizan la tarea que se ha determinado evaluar.
 - 7732 - Tiempo asociado a cada tarea, determinando la presencia de los ciclos de trabajo, y la
7733 variabilidad de la condición de empuje y arrastre de carga
 - 7734 - La existencia de grupos similares de exposición, obteniéndose de esta forma una información
7735 representativa para todo un grupo, simplificando las mediciones.
 - 7736 - Las características generales del recinto donde se realiza la tarea (cerrado, abierto, estado y
7737 características de las superficies, etc.).

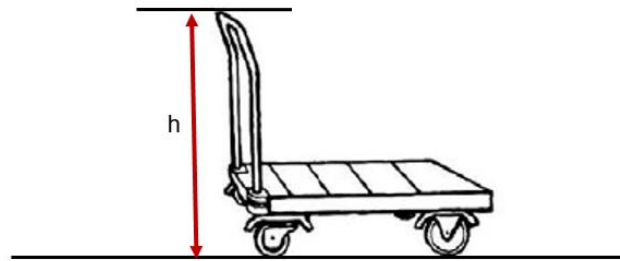
7738

7739 **2. Determinaciones Iniciales.**

7740 Para tareas de empuje y arrastre, y determinación de fuerzas iniciales y de sustentación:

- 7741 a. Determinar la altura del mango o asa.

7742 *Figura 19-5 Altura del mango o de la tomada.*

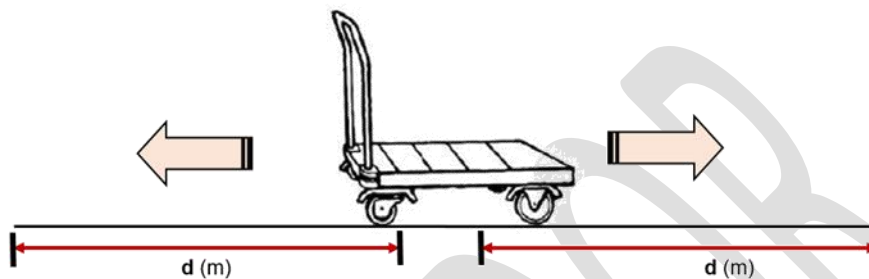


7743

7744 b. Determinar la distancia de empuje y arrastre

7745

Figura 19-6. Distancia del recorrido realizado



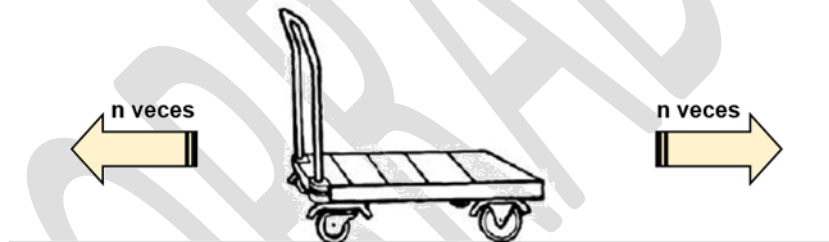
7746

7747

7748 c. Determinar la frecuencia de las tareas realizadas.

7749

Figura 19-7. Frecuencia de recorridos realizados



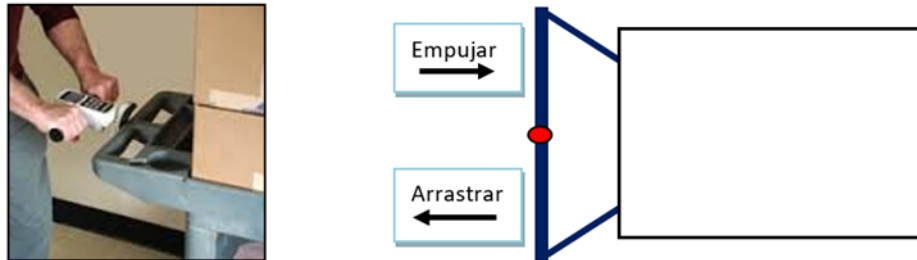
7750

7751

7752 d. Seleccionar punto de medición. Seleccionar la zona o punto de medición en el carro o en el mango,
7753 por ejemplo, medir del punto medio del mango si este es horizontal (ver fig. N° 8), o bien, seleccionar
7754 una zona estable de una parte del carro que el evaluador crea que sea más eficiente en cuanto al
7755 empuje y arrastre (nunca desde la carga), además determine cuál apoyo ofrece la forma más fácil y
7756 más precisa para medir. Lo anterior dependerá de las características del mango y la superficie contra
7757 las que el dinamómetro se contactará. La magnitud del empuje o fuerzas de arrastre debería ser el
7758 mismo, sin embargo, es necesario tener en cuenta algunos factores de factibilidad y seguridad (por
7759 ejemplo, cual es la opción que tiene el trabajador de elegir en cuanto a empuje o arrastre y evaluar
7760 razones de seguridad del traslado de la carga). Existe una diversidad de tipos de carros, y el empuje y
7761 arrastre de carga es variada. Por lo que una correcta estrategia de medición debe tener en cuenta
7762 todas las posibilidades. Si el mango es horizontal, localizar el punto de medición en el punto medio del
7763 mango.

7764

Ejemplo Figura 19-8. Punto medio de medición (en un mango horizontal)



7765

7766 Si el mango es vertical, debe localizar la zona habitual de empuje que utiliza la persona y también si es
7767 posible una zona sobre el chasis del carro, idealmente en una zona media entre los mango o asas (si
7768 existen). Se debe evitar deformidad de las zonas de apoyo del dinamómetro, si es necesario, se debe
7769 instalar una placa rígida sobre esa zona.
7770

7771

e. Consideraciones generales:

7772 - Antes de proceder a la medición, es necesario explicar al trabajador en que consiste la medición,
7773 además se le debe pedir que haga la tarea tal como lo hace habitualmente, esto permitirá al
7774 evaluador percatarse y considerar los aspectos más relevantes a tener en cuenta en el transcurso de
7775 la medición y determinar si el trabajador realiza la actividad empujando o arrastrando.

7776 - Cargue la plataforma, carro o carretilla a mover, con el peso máximo que se manipula en condiciones
7777 habituales durante la jornada de trabajo, no sobrecargándolo permitiendo mantener su estabilidad,
7778 con el propósito que sea seguro para el trabajador u operador del equipo y aquellos que están
7779 alrededor de la carga, en ningún caso se realizará el procedimiento de medición, si parte de la carga
7780 se desliza o cae.

7781 - Adopte las medidas y acciones para empujar o bien arrastrar desde el mango del carro. Recuerde
7782 que esta acción debe ser realizada primero por el mismo trabajador u operador (idealmente puede
7783 ser filmada para ser representada claramente durante la medición).

7784 - Se recomienda que el trabajador esté presente en el lugar de trabajo para hacerle consultas
7785 específicas y si el trabajador puede aportar algún antecedente distinto que esté ocurriendo.

7786 - Las mediciones realizadas con el dinamómetro convencional al cual se refiere este protocolo
7787 corresponde a la fuerza horizontal ($F_N=F_H$), la cual es aplicada en forma paralela al plano de la
7788 superficie de desplazamiento del carro.

7789

7790 **3. Medición de fuerza inicial.**

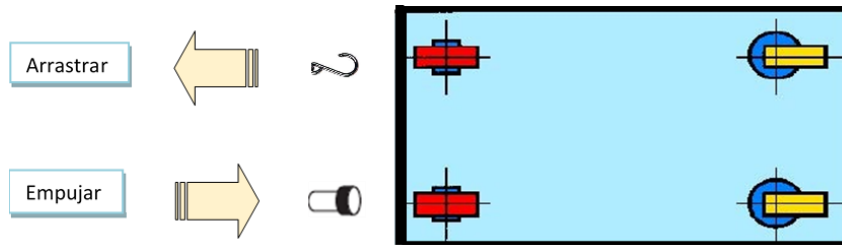
7791 Para carros con ruedas, se deben considerar dos condiciones:

7792 a. En la primera condición se debe colocar las ruedas giratorias (si posee) de acuerdo con la dirección del
7793 movimiento del carro Fig. N° 9. En la medición de la fuerza inicial, leer y registrar la fuerza, cuando la
7794 plataforma, carretilla o carro empieza a moverse, lo cual habitualmente está representado por el
7795 "pick" de la fuerza realizada.

7796

7797

Figura 19-9. Condición con ruedas en la dirección del movimiento

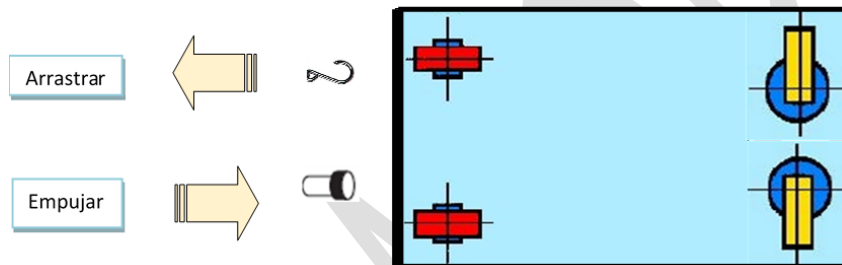


- 7798
- 7799 b. En la segunda condición, coloque las ruedas giratorias en ángulo recto con la dirección del movimiento
- 7800 inicial Fig.19-10. La fuerza de empuje debe enderezar la rueda para mover el carro. La condición del
- 7801 ángulo derecho producirá fuerzas superiores en comparación con el estado en línea. Mantenga el
- 7802 medidor del dinamómetro firmemente en el mango o zona de empuje o arrastre del carro, asegurándose de que no se deslice o mueva. No de tirones, sacuda o mueva el medidor. Luego genere
- 7803 un movimiento del carro, y registre el “pick” de la fuerza realizada.
- 7804

7805

7806

Figura 19-10. Condición con ruedas perpendiculares al movimiento



7807

7808

7809 También es importante medir la fuerza ejercida por los trabajadores cuando arreglan primero la rueda

7810 giratoria, dando un rápido “tiron” lateral, antes de empujar o arrastrar, esa fuerza lateral inicial para

7811 enderezar las ruedas giratorias se puede medir y dejar registrada, al igual que la fuerza de empuje o

7812 arrastre inicial con las ruedas en ángulo recto, ya que generalmente suele ser mayor que esta última.

7813

7814

4. Medición de fuerza de sustentación:

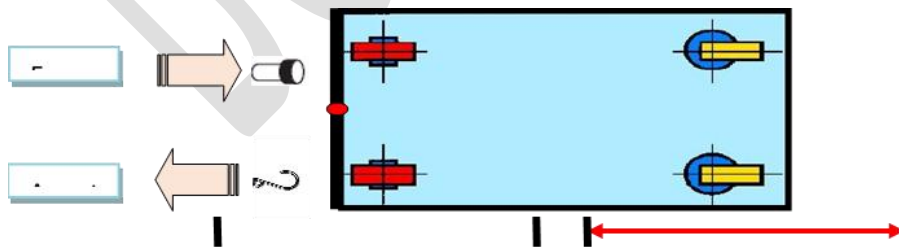
7815 Fije el dinamómetro en el mango o asa o bien en el carro de la misma forma como se explica anteriormente

7816 en la medición de la fuerza inicial. Luego debe empujar o arrastrar al menos, 1 m en 3 s, (velocidad es igual

7817 a un paso lento). Lea y registre esa magnitud al cabo de los 3 seg.

7818

Figura 19-11. Medición fuerza sostenida



7819

7820 Para asegurar una consistencia de las mediciones realizadas en la fuerza sostenida, ya que generalmente

7821 resulta más compleja de obtener, se deben tomar 3 mediciones si estas son similares y en caso contrario

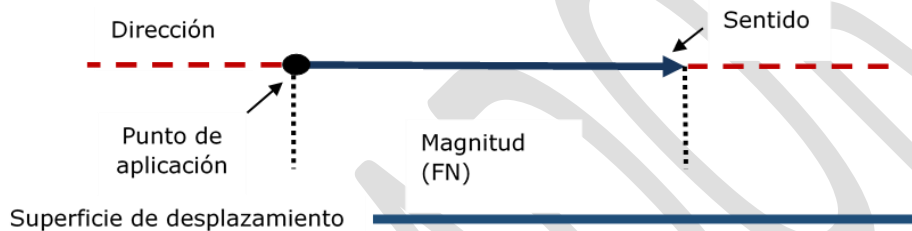
7822 se deben realizar 5 mediciones entre las cuales no deben variar en más de un 15%. Respetando lo anterior,
7823 se debe registrar el promedio de las mediciones para definir el resultado final de la magnitud de la fuerza
7824 de sustentación.

7825 **Algunas consideraciones que se debe tener en cuenta tanto para la medición de la fuerza inicial y la**
7826 **fuerza de sustentación, son:**

7827 - En los casos que exista la necesidad de realizar una detención del carro, que implique el desarrollo de
7828 una fuerza de frenado importante, se debe considerar evaluar esa fuerza, que se produce al momento
7829 de detenerlo o desacelerarlo. Ocasionalmente la magnitud de esta fuerza puede ser mayor que la
7830 fuerza inicial y la de sustentación. Lo que implica necesariamente medir, y registrar, para
7831 posteriormente adoptar las medidas correspondientes. Se debe seguir la misma consideración si existe
7832 un cambio brusco de dirección, con la consiguiente aplicación de fuerza adicional.

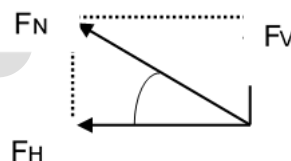
7833 - Las mediciones realizadas con el dinamómetro convencional al cual se refiere este protocolo
7834 corresponde a la fuerza horizontal ($F_N = F_H$), la cual es aplicada en forma paralela al plano de la superficie
7835 de desplazamiento del carro.

7836



7837

7838 - Al medir una fuerza se debe considerar que es una magnitud vectorial de la cual es necesario conocer
7839 su dirección, su sentido y su punto de aplicación, además de su magnitud (para nuestro caso es la
7840 medida por el dinamómetro). En las tareas de empuje y arrastre (cuando el sentido de la fuerza neta
7841 no es paralela al plano o superficie de desplazamiento), considerando que la fuerza resultante de la
7842 medición con el dinamómetro es una fuerza neta (F_N), es necesario determinar la componente
7843 vectorial horizontal de la fuerza (F_H) que se define como el coseno del ángulo de aplicación, por la
7844 fuerza neta medida. Esta componente de fuerza horizontal es la que se debe comparar con la fuerza
7845 límite permisible. Por lo tanto, si se desea determinar las fuerzas vectoriales resultantes, es necesario
7846 conocer el ángulo del punto de aplicación de la fuerza con respecto a la horizontal (ángulo α), y luego
7847 aplicar el coseno de este ángulo, que luego se multiplica por el valor de la fuerza medida por el
7848 dinamómetro (magnitud)



7849

7850 Para determinar magnitud de las fuerzas con el Dinamómetro, **sobre estructuras sin ruedas**, el
7851 procedimiento básicamente es el mismo.

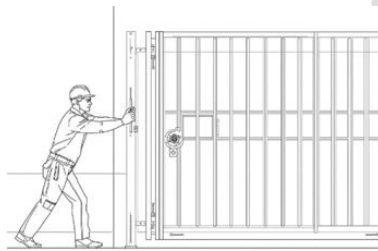
7852

7853 **5. Medición de fuerzas realizadas sobre diferentes estructuras y objetos.** Distintas a los carros
7854 industriales.

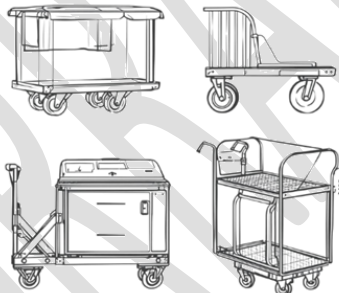
7855 El dinamómetro también puede ser usado para la determinación de la fuerza desarrollada por los
7856 trabajadores en situaciones distintas de las abordadas en los puntos anteriores. Por ejemplo, en el sector
7857 salud se emplean dispositivos como camillas, sillas de ruedas y carros para el traslado de insumos; en el
7858 ámbito de hotelería los carros para la ropa, artículos de aseo o alimentos entre otros; y también se pueden
7859 observar variados tipos de carros en el rubro industrial. También se puede medir la magnitud de la fuerza
7860 al empujar una puerta o portón corredizo ya sea cuenta con ruedas o bien un carril deslizante.

7861 **Figura 19-12. Objetos y estructuras en las que se puede medir las fuerzas de empuje y arrastre.**

7862 **Empuje y arrastre de portones, rejas y barreras.** Las tareas de empuje y arrastre sobre estructuras
7863 corredizas, ya sea que incorporen ruedas o no, son actividades rutinarias en muchos lugares de trabajo
7864
7865



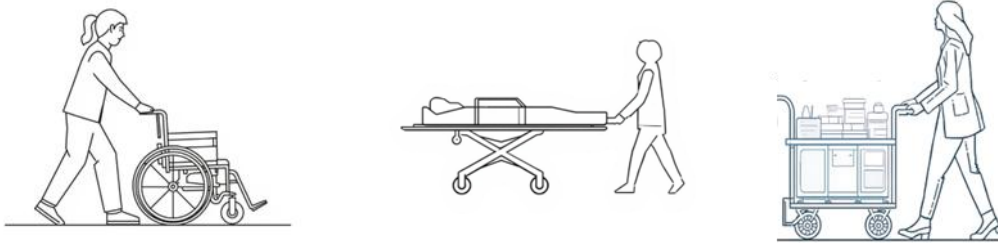
7866
7867 **Uso de carros en el sector industrial.** El uso de carros en la industria en general es variado, como los
7868 utilizados en hotelería, industrias alimenticias, traslado de productos congelados, herramientas, etc.
7869



7870 **Uso de sillas de ruedas, camillas y carros en el sector salud.** El uso de sillas de ruedas y camillas en el
7871 sector hospitalario y de salud en general, es una de las actividades que implica mayor sobrecarga física a
7872 los trabajadores del sector.
7873

7874 Es necesario considerar las características del paciente a trasladar, en cuanto a su envergadura física y
7875 peso, las condiciones del terreno en especial en presencia de rampas o terreno irregular y también el
7876 estado de la mecánica ya sea de la silla de ruedas o la camilla; especial consideración adquieren las ruedas
7877 tanto en su estabilidad como en sus condiciones de rodadura

7878



7879

7880 6. Medición para levantamiento y descenso de carga.

7881 El dinamómetro también puede ser usado para determinación del peso de objetos lo que permite
7882 enterarse en terreno sobre el peso de los objetos que se manipulan. Es posible su utilización en la
7883 determinación de pesos desconocidos, o bien para corroborar en caso de dudas o a consideración
7884 profesional. Estos objetos no deberían ser tan pesados como para dificultar la medición, producto de la
7885 fuerza a realizar por el evaluador o bien contar con los medios de sujeción en el mismo objeto o con un
7886 medio de sujeción para fijar al dinamómetro. Por otra parte, se debe procurar que el objeto a medir no
7887 debe tener contacto con otras estructuras, además de tener muy en cuenta su centro de gravedad, para
7888 estabilizar la carga mientras se está midiendo, permitiendo que la lectura se estabilice. Esta maniobra se
7889 debe realizar en la modalidad de fuerza sostenida, permitiendo que la lectura se estabilice.

7890

Figura 19-13: Accesorios que permiten un agarre del objeto.



7891

7892 La carga debe estar bien fijada al dinamómetro, evitando que esta se suelte y caiga. Para ello se suele
7893 utilizar algún tipo de arnés o correa que permita enlazar firmemente el objeto. En general necesitará ayuda
7894 para realizar esta prueba especialmente al manipular el objeto, evitando que el mismo evaluador pueda
7895 lesionarse por un sobreesfuerzo.

7896

7897 7. Interpretación de resultados.

7898 La magnitud de la fuerza encontrada tanto en la fuerza inicial como en la de sustentación, permiten
7899 establecer entre otras cosas lo siguiente:

7900 a. Permitir ser contrastadas con la percepción del esfuerzo realizado por parte de los trabajadores y
7901 evitar que utilicen fuerzas por sobre sus capacidades.

7902 b. Permitir hacer uso de tablas conocidas y también establecidas en la “Guía técnica de identificación,
7903 evaluación y control, de MMC, del Ministerio del Trabajo y Previsión Social, específicamente las tablas
7904 de Snook, (método Liberty Mutual para evaluar tareas de empuje y arrastre). Estas permiten
7905 determinar luego de conocida la magnitud de la fuerza y proceder a aplicar el método, responder a la
7906 interrogante si las fuerzas superan o no lo recomendado, considerando también otras variables.



- 7907 c. Contrastar las fuerzas realizadas en forma habitual, con los distintos tipos de agarre y postura,
7908 haciendo que la persona realice un esfuerzo menor al cambiar la estrategia de la tomada o adoptando
7909 las medidas necesarias para tal efecto.
- 7910 d. Determinar si la magnitud de las fuerzas realizadas, superan lo establecido en el marco legal, por lo
7911 tanto, determinar el cumplimiento o incumplimiento en este ámbito.
- 7912 e. Permitir corroborar que las medidas implementadas han sido exitosas al disminuir los esfuerzos
7913 realizados por los trabajadores.
- 7914 f. Al determinar la altura del mango o asa se puede definir la altura desde la cual se realiza el menor
7915 esfuerzo posible, por ejemplo, si es necesario cambiar en cuanto a altitud las asas horizontales o bien
7916 privilegiar asas verticales
- 7917 g. Determinar la distancia de empuje y arrastre, permite por ejemplo hacer cambios en la organización
7918 de la tarea y del proceso en general.
- 7919 h. Determinar la frecuencia de las tareas realizadas, permite redistribuir las cargas en caso de ser muy
7920 frecuentes, favorecer la rotación de funciones y mejorar el sistema de transporte y ayuda mecánica.
- 7921 La determinación de la altura del mango o asa, la distancia de empuje y arrastre y la frecuencia de las
7922 tareas realizadas, también son insumo para hacer uso de las tablas de empuje y arrastre (tablas de Snook),
7923 junto a otras variables incluidas en el método de la Liberty Mutual. Estas tablas entregan los valores límites
7924 correspondientes a la fuerza inicial y fuerza de sustentación.

7925 **8. Contenidos del informe de evaluación.**

7926 La medición de fuerzas con el dinamómetro, constituye una herramienta objetiva para cuantificar la
7927 magnitud de las fuerzas asociadas a tareas de empuje, arrastre y levantamiento manual de cargas. Sin
7928 embargo, por sí sola no caracteriza el nivel de riesgo musculoesquelético si no se integra dentro de una
7929 evaluación ergonómica más amplia e integral, que considere las condiciones reales de ejecución de las
7930 tareas, la organización de estas y la variabilidad del proceso productivo.

7931 El informe de evaluación debe concebirse como un documento técnico integral, en el cual entre otras
7932 cosas se respalda el análisis de las fuerzas medidas, facilita su interpretación con criterios de referencia y
7933 recomendaciones técnicas preventivas; el informe debería incorporar los siguientes contenidos:

- 7934 - Antecedentes generales de la empresa y del proceso evaluado: Identificación de la organización,
7935 actividad económica, área o unidad evaluada, descripción general del proceso productivo y
7936 justificación de la evaluación realizada.
- 7937 - Conocimiento y caracterización de los puestos de trabajo y tareas evaluadas: Descripción detallada de
7938 las actividades involucradas, ciclos de trabajo, frecuencia y duración de las tareas, peso y
7939 características de las cargas, número de trabajadores expuestos, condiciones del entorno físico
7940 (superficie de desplazamiento, pendientes, obstáculos, iluminación, temperatura, entre otros) y
7941 variabilidad operativa.
- 7942 - Instrumental de medición: Especificación del dinamómetro utilizado (tipo - principio de
7943 funcionamiento - rango y resolución), estado de calibración vigente, fecha de última calibración y
7944 accesorios empleados en la medición.
- 7945 - Diseño, planificación y metodología de las mediciones: Definición del protocolo aplicado, criterios de
7946 selección de tareas y trabajadores, número de mediciones, altura de aplicación, condiciones de carga
7947 y velocidad de ejecución, y medidas adoptadas para asegurar trazabilidad de resultados.
- 7948 - Resultados de las mediciones: Presentación de los valores obtenidos, diferenciando fuerza inicial y
7949 fuerza sostenida, cuando corresponda, incluyendo valores máximos, promedios y dispersión, además
7950 de las observaciones relevantes durante la medición.
- 7951 - Análisis e interpretación de los resultados: Evaluación técnica de las fuerzas medidas en relación con
7952 criterios de aceptabilidad y referencia, normativa vigente, guías técnicas y evidencia disponible,
7953 considerando además factores organizacionales y capacidad física del trabajador/a. Identificar
7954 restricciones metodológicas, condiciones no representativas o factores que puedan influir en la
7955 interpretación de los resultados.
- 7956 - Conclusiones: Síntesis de principales hallazgos, nivel de exigencia física, coherencia y relación entre
7957 resultados obtenidos, las condiciones observadas e impacto sobre la salud.
- 7958 - Recomendaciones preventivas y correctivas: Propuestas de medidas jerarquizadas para la reducción
7959 del riesgo, incluyendo mejoras de diseño, cambios en métodos de trabajo, reorganización de tareas,
7960 ayudas mecánicas, ajustes organizacionales, capacitaciones; todas con prioridades y plazos de
7961 implementación.
- 7962 - Identificación y respaldo técnico del evaluador: Nombre, profesión, cargo, institución, fecha de
7963 evaluación y firma del responsable; lo que asegura trazabilidad, validez técnica y responsabilidad
7964 profesional del informe.

7965 El Instituto de Salud Pública de Chile, a través del Departamento Salud Ocupacional, publicó en el año
7966 2018, la “Guía de Criterios para la Elaboración de Informes Técnicos de Evaluación de Puestos de Trabajo
7967 Relacionados a los Factores de Riesgo de los Trastornos Músculo Esqueléticos”, la cual puede ser
7968 consultada para apoyo en la elaboración de los informes técnicos de evaluación de puestos de trabajo,
7969 disponible en su página web.

7970 **19.7 BIBLIOGRAFIA.**

- 7971 - Chaffin, D. B., & Anderson, G. B. J. (2006). Occupational biomechanics (4th ed.). John Wiley & Sons.
- 7972 - Ciriello, V. M., & Snook, S. H. (1983). A study of size, distance, height, and frequency effects on manual
7973 handling tasks. *Human Factors*, 25(5), 473–483. <https://doi.org/10.1177/001872088302500503>
- 7974 - Instituto de Salud Pública de Chile. (2018). Guía de criterios para la elaboración de informes técnicos
7975 de evaluación de puestos de trabajo relacionados a los factores de riesgo de los trastornos músculo-
7976 esqueléticos. Departamento de Salud Ocupacional.
7977 <https://www.ispch.gob.cl/sites/default/files/GuiaInformaME-20112018A.pdf>
- 7978 - Pinto, R., Córdova, V., Quiceno, L., & Llambías, J. (s.f.). Ecuaciones de empuje y arrastre ACHS: Relación
7979 entre el peso de una carga y la fuerza humana necesaria para moverla. *Ciencia & Trabajo*.
- 7980 - Snook, S. H. (1987). The design of manual handling tasks: Revised tables of maximum acceptable
7981 weights and forces. *Ergonomics*, 34(9), 1197–1213. <https://doi.org/10.1080/00140139108964855>
- 7982 - Universidad Politécnica de Valencia. (2025). Evaluación de la manipulación manual de cargas mediante
7983 las tablas de Snook y Ciriello. *Ergonautas*.
7984 https://www.ergonautas.upv.es/metodos/snook_y_ciriello/snook-ayuda.php

7985

7986 **CAPÍTULO XX**

7987 **EVALUACIÓN DE LA AUDICIÓN DE PERSONAS TRABAJADORAS: LA PÉRDIDA**
7988 **AUDITIVA COMO INDICADOR BIOLÓGICO DEL EFECTO DE LA EXPOSICIÓN A**
7989 **FACTORES LABORALES.**

7990

7991

7992 **20.1 GENERALIDADES DE LA AUDICIÓN HUMANA**

7993 El oído es el órgano del sentido de la audición. Anatómicamente se divide en oído externo, oído medio y
7994 oído interno (figura 1).



7995

7996

Figura 1. Diagrama de las partes del oído humano

7997 Para escuchar un sonido, este debe viajar desde el oído externo al oído interno. Dentro del oído
7998 interno se producirá la conversión de la señal acústica (mecánica) a eléctrica (impulso nervioso).
7999 Posteriormente, este impulso nervioso viajará por el nervio auditivo para llegar al sistema nervioso
8000 central, específicamente hasta la corteza auditiva; que es dónde se traduce el sonido para darle
8001 significado.

8002 Si se produce algún daño o alteración en cualquiera de las partes o estructuras que participan en este
8003 proceso, o se obstaculiza de alguna forma el paso del sonido desde el oído externo al interno, se puede
8004 generar una pérdida auditiva (hipoacusia). Si esto ocurre a nivel del oído externo u oído medio,
8005 impidiendo que el sonido viaje hasta el oído interno, se producirá hipoacusia de transmisión o
8006 conducción. Si ocurre algún daño en el oído interno o nervio auditivo que no permite o altera el
8007 proceso de conversión de la señal, se genera una hipoacusia sensorio-neural. Y en caso de que ocurra
8008 una combinación de ambos, se produce una hipoacusia mixta. Adicionalmente, si el daño o alteración
8009 ocurre en las estructuras del sistema nervioso central o en la transmisión de la información por la vía
8010 auditiva central hasta la corteza auditiva; se genera una hipoacusia central.

8011 En el ámbito de salud ocupacional, las pérdidas auditivas serán clasificadas de acuerdo al origen de su
8012 causa; siendo de origen laboral las con causa atribuible a factores laborales, y de origen no laboral las
8013 que tengan una causa de origen común. Así también se identificarán pérdidas auditivas de causa de
8014 origen mixto, es decir con componente de origen laboral y no laboral (3). Las pérdidas de origen laboral
8015 o de origen mixto, podrán ser a su vez hipoacusias de transmisión o conducción, sensorio-neural o
8016 mixtas.

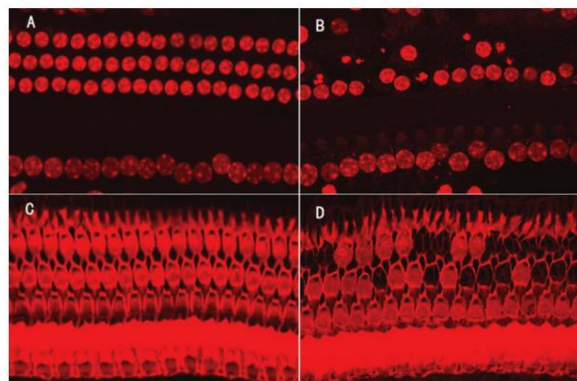
8017 **20.2 MEDICIÓN DE LA PÉRDIDA AUDITIVA COMO INDICADOR BIOLÓGICO DEL EFECTO DE LA**
8018 **EXPOSICIÓN A FACTORES LABORALES.**

8019 Dentro de los principales factores laborales reconocidos como causantes de pérdida auditiva de origen
8020 laboral se identifican el ruido y los agentes químicos (4,5,6). Algunos autores también han asociado los
8021 cambios de presión como factor causante de pérdida auditiva (7,8).

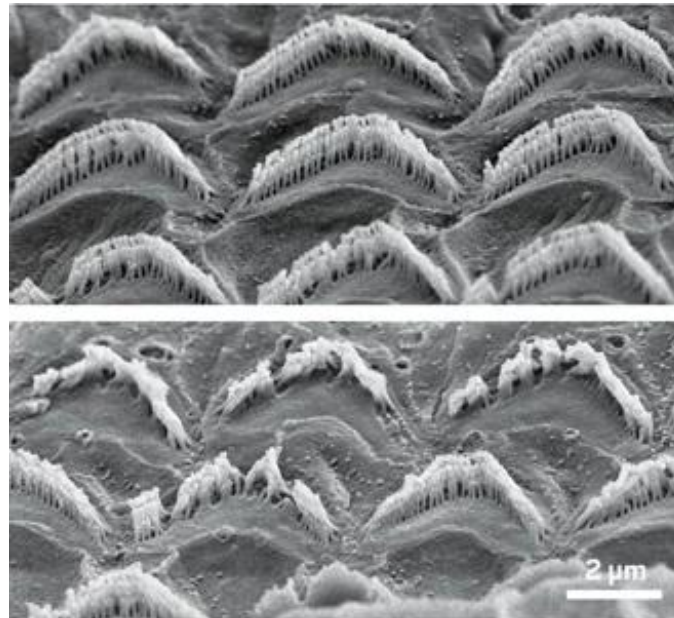
8022 El ruido es un agente presente frecuentemente en los lugares de trabajo. La exposición continua o
8023 intermitente y a largo plazo al ruido puede causar pérdida de la audición, conocida como hipoacusia
8024 inducida por ruido, propia de la exposición laboral o por actividades recreativas, o bien ser el resultado de
8025 una exposición repentina a un ruido intenso, como lo que ocurre frente a una explosión, lo que
8026 generalmente se conoce como trauma acústico. Esta última condición se diferencia de la hipoacusia
8027 inducida por ruido porque suele ocasionar un daño auditivo mayor y porque puede estar asociado a daños
8028 en la membrana timpánica, en el oído medio y en el oído interno, como perforación timpánica, luxa
8029 fractura de la cadena osicular o hemorragia laberíntica (9).

8030 Desde ya hace varios años se han publicado estudios que han documentado la pérdida auditiva en
8031 trabajadores expuestos a ruido en diferentes rubros, como en la industria metalúrgica (10), del algodón
8032 (11), astilleros (12) y tejedores (13), lo que ha llevado a que este agente sea reconocido a nivel mundial
8033 como causante de pérdida auditiva.

8034 Así también, desde hace tiempo, a través de estudios de modelos animales, se ha evidenciado que la
8035 exposición a ruido daña las estructuras del oído interno. En 1907, Wittmack realizó los primeros estudios
8036 sistemáticos y experimentales utilizando animales (específicamente cobayos) para observar y documentar
8037 los cambios histológicos precisos en el oído interno debido a la exposición controlada al ruido,
8038 estableciendo así el vínculo entre la exposición a ruido y el daño específico de la estructura celular del oído
8039 interno (16). A partir de esto se ha identificado que la exposición a ruido destruye las células ciliadas del
8040 órgano de corti, las cuales pueden ser células ciliadas externas (CCE) o células ciliadas internas (CCI) (figura
8041 2 y figura 3). Estas células ciliadas son necesarias para la transducción de la señal mecánica a eléctrica.



8042 **Figura 20-2:** Muerte celular posterior al daño inducido por ruido: A. Preparaciones de la superficie del
8043 órgano de Corti de Cuy en el giro basal con los núcleos teñidos con yoduro de propidio que muestra los
8044 núcleos bien definidos en las células ciliadas (Control). B. Tinción con yoduro de propidio que muestra un
8045 grupo de células con condensación nuclear y tumefacción posterior a la exposición a ruido. C. Tinción de
8046 Rodamina-Faloidina para actina en los Cuyes control mostrando los bordes bien definidos de las células
8047 ciliadas externas. D. Posterior a la exposición a ruido, la tinción con Rodamina-Faloidina muestra pérdida
8048 de células ciliadas externas. Extradido de. Wei-Ju et al. 2010 (15)
8049



8050
8051 **Figura 20-3.** Microfotografías de microscopía electrónica de Barrido que muestra las células ciliadas de
8052 oído interno de ratones expuestos a ruido alto (imagen inferior) o sin exposición (imagen superior).
8053 Créditos de imagen: PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences) (16)

8054 Las investigaciones realizadas también permitieron describir los mecanismos de daño por la exposición a
8055 ruido, identificándose el daño por estrés metabólico y el daño por estrés mecánico.

8056 El daño por estrés metabólico se ha descrito frente a la exposición insistente y repetida de ruido a niveles
8057 entre 85 hasta 95 dB. A esta intensidad se somete a las células ciliadas externas (CCE) y células ciliadas
8058 internas (CCI) a un trabajo metabólico excesivo, lo que ocasiona una fatiga auditiva por alteraciones
8059 bioquímicas a nivel celular. La exposición prolongada a esta situación lleva a que las CCE y CCI no resistan
8060 la sobrecarga, sufran daño irreversible, mueran y desaparezcan. Cada grupo de CCE o CCI que desaparece
8061 es una zona de la cóclea que deja de percibir el sonido de la frecuencia que le correspondía, disfunción
8062 que permanece de manera definitiva (17), lo que en otros estudios es explicado como la excitotoxicidad
8063 mediada por glutamato (18).

8064 Por otro lado, el daño por estrés mecánico ocurre cuando un ruido excesivamente alto produce tal
8065 cantidad de energía que al llegar a la cóclea puede destruir las estructuras nobles de alguna o de todas sus
8066 espiras por lesión mecánica. Es decir, una energía sonora extrema hace que el sistema mecánico vibre con
8067 excesiva amplitud, excediéndose físicamente el límite elástico de sus estructuras. Con ello se produce una
8068 lesión hística mecánica directa que acarrea el deterioro y la muerte de cierto número de células ciliadas
8069 internas (CCI) y células ciliadas externas (CCE) (17).

8070 Por su parte, los agentes químicos clasificados como agentes ototóxicos y neurotóxicos, presentes también
8071 en los lugares de trabajo, han demostrado que, al igual que el ruido, son factores que dañan células
8072 específicas dentro del órgano de la audición, componentes de estas células específicas del sistema auditivo
8073 o dañan vías de señalización intracelular, así como también, pueden afectar a la vía auditiva central (6).

8074 Estudiar y evidenciar la presencia y efecto de los factores laborales a nivel del oído en las personas
8075 trabajadora a través de muestras, imágenes o estudios histológicos directas del oído es difícil, dado que el
8076 oído interno es una estructura anatómica delicada y de acceso complejo. Esto es solucionado al introducir
8077 la investigación de las características auditivas y clínicas de la pérdida auditiva inducida por ruido y
8078 ototóxicos en personas trabajadoras.



8079 En 1937 se establecen las características auditivas y clínicas de la pérdida auditiva inducida por ruido en
8080 trabajadores, destacando la naturaleza del problema y la gravedad de la lesión a la altura de los 4000 Hz y
8081 su ampliación a las frecuencias circundantes cuando la patología evoluciona (19), así como el componente
8082 vascular asociado a la lesión (20). Durante el transcurso de los años se realizaron estudios con el objetivo
8083 de caracterizar el riesgo del agente ruido en los puestos de trabajo (21) y el efecto en las personas
8084 trabajadoras, así como la prevención del daño (22).

8085 Es así, que entendiendo que, tanto la exposición a ruido como a agentes químicos genera daño temporal
8086 o permanente de las estructuras celulares del oído, lo cual se refleja como la disminución del umbral
8087 auditivo de forma temporal o permanente, los resultados de exámenes de evaluación auditiva, como la
8088 audiometría, son una valiosa opción no invasiva para evaluar y monitorear el estado del oído interno, y
8089 utilizar esta información como un indicador biológico de la presencia del factor laboral en el oído de las
8090 personas trabajadoras, a través de la detección del efecto que este produce.

8091

8092 **20.3 PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN DE LA AUDICIÓN EN EL ÁMBITO LABORAL**

8093 Los objetivos por los que se evaluará la audición de las personas trabajadoras, bajo el marco de la ley N°
8094 16.744, serán con fines de evaluación ocupacional, vigilancia, diagnóstico y calificación de origen,
8095 evaluación médico legal y rehabilitación auditiva.

8096 El nivel de audición de las personas trabajadoras será determinado a través del procedimiento de
8097 otoscopia, examen de audiometría de vigilancia en cámara o terreno y examen de evaluación auditiva
8098 médico legal (EAML). Los procedimientos, métodos y requisitos de calidad de todas estas evaluaciones
8099 auditivas son establecidos por el Instituto de Salud Pública de Chile, bajo su rol de Laboratorio Nacional y
8100 de Referencia en Salud Ocupacional, y se encuentran publicados a través de los documentos de referencia
8101 que esta institución emite.

8102 El procedimiento de otoscopia, el examen de audiometría de vigilancia y el examen de evaluación auditiva
8103 médico legal corresponden a procedimientos clínicos, por tanto, sólo pueden ser realizados por personal
8104 de la salud habilitados para ejercer conforme a sus competencias formativas y legales, debiendo
8105 encontrarse inscritos en el Registro Nacional de Prestadores Individuales de Salud de la Superintendencia
8106 de Salud, y cumpliendo además los requisitos específicos que se indican en los documentos de referencia
8107 del ISP en audiometrías de vigilancia y EAML, en lo que respecta a examinadores.

8108 **20.3.1 Generalidad del procedimiento de otoscopia:**

8109 La otoscopia es un procedimiento clínico que el examinador debe realizar siempre antes de cualquier
8110 examen de audiometría o EAML, registrando sus resultados en la ficha de la persona trabajadora y en su
8111 registro de audiometría.

8112 Dentro del proceso de evaluación auditiva, su objetivo es realizar una evaluación visual del estado del oído
8113 externo y medio con el fin de descartar obstrucciones del canal auditivo, evaluar la integridad y salud de
8114 las estructuras anatómicas, identificar posibles infecciones, inflamaciones o heridas, etc., y con todo esto,
8115 determinar si es seguro y válido realizar el examen de audiometría.

8116

8117 **20.3.1.1 Equipamiento para la otoscopia**

8118 Otoscopio de luz

8119 El otoscopio de luz debe estar compuesto por un cabezal con una fuente de luz (generalmente LED o
8120 halógena) y una lente de aumento, un mango con una fuente de energía (batería o recargable) y un
8121 espejo óptico o conito desechable o reutilizable.

8122



8123

8124

Figura 20-4. Diagrama de otoscopio de luz

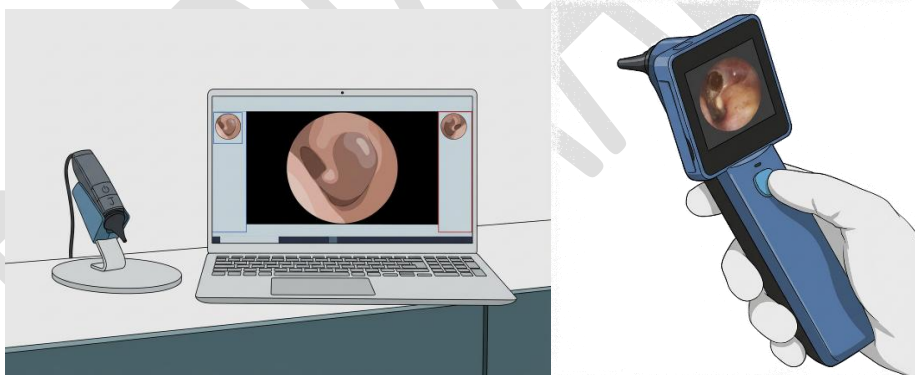
8125

8126 Video-otoscopio

8127 El video-otoscopio es un instrumento que incorpora una cámara digital al modelo de otoscopio de luz, permitiendo la captura y visualización en tiempo real de imágenes o videos en una pantalla externa. Como
8128 mínimo, se recomiendan las siguientes características técnicas:
8129

- 8130 - Sensor de imagen CMOS o CCD
- 8131 - Resolución hasta HD o superior
- 8132 - Que cuente con salida de video (USB, HDMI o inalámbrico)
- 8133 - Que cuente con software de captura y almacenamiento

8134



8135

8136

Figura 20-5. Diagramas de videotoscopio

8137

8138 Otoscopio neumático

8139 Variante del otoscopio de luz convencional que incorpora un sistema para aplicar presión de aire
8140 controlada en el canal auditivo externo. Adicional a los componentes de un otoscopio de luz, este modelo
8141 cuenta con bulbo de goma (pera neumática) conectado al cabezal, tubo de aire que dirige la presión hacia
8142 el canal auditivo externo, y en algunos modelos, se incorpora una válvula reguladora para control de
8143 presión.



Figura 20-6. Otoscopio neumático

8144
8145
8146
8147

20.3.1.2 Proceso de evaluación de otoscopia.

8148 El proceso completo de la evaluación de otoscopia contempla etapas de preparación y chequeo de las
8149 condiciones del equipo para determinar su correcto funcionamiento.

8150 Además, se debe considerar una etapa de preparación de la persona trabajadora en la que se le entrevista
8151 sobre datos de salud y laborales, y se le entregan las indicaciones de la evaluación, así también, en esta
8152 etapa, se deja a la persona trabajadora en la posición adecuada para la evaluación de otoscopia y se
8153 despeja el oído para facilitar su visualización externa e interna.

8154 Todo esto permite que al realizar la evaluación visual se asegure la obtención de un resultado de
8155 evaluación de otoscopia válido.

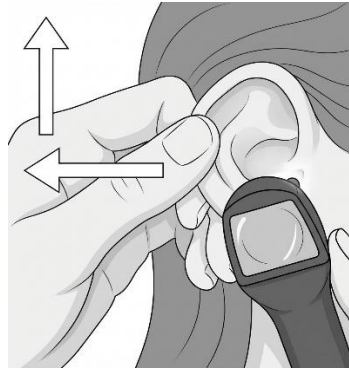
8156 Una vez obtenido un resultado conforme de la etapa de preparación, se procede a ejecutar el examen
8157 visual externo del pabellón auricular, sus zonas circundantes y zona de ingreso al conducto auditivo
8158 externo. En esta instancia se busca identificar cualquier signo de inflamación, secreción, acumulación de
8159 cerumen, golpe, infección u otro hallazgo visual que permita orientar el procedimiento o su cancelación.

8160 Posteriormente se realizará la evaluación visual interna del conducto auditivo externo (CAE) y membrana
8161 timpánica (MT).

8162 En la exploración visual interna del procedimiento de otoscopia se evaluará la salud del CAE y MT,
8163 observando factores, tales como los que se indican en la siguiente tabla:

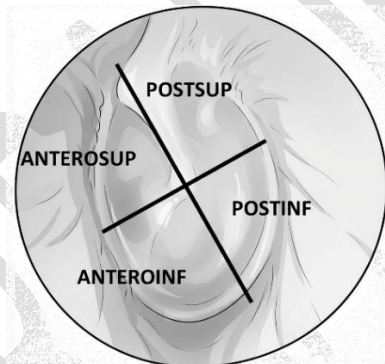
Principales factores a observar durante la evaluación de otoscopia	
Factores en conducto auditivo externo	Factores en membrana timpánica
Presencia de tapón de cerumen	Color de la membrana timpánica
Presencia de objeto(s) extraño(s)	Perforación en la membrana timpánica
Tamaño del conducto o lumen	Aspecto abultado o retraído
Heridas	Estado del reflejo luminoso
Color de las paredes	Visualización de burbujas
Presencia de líquido o materia, etc.	Presencia de timpanoesclerosis

8164
8165 Para un proceso de exploración del CAE y MT adecuado se debe alinear el conducto auditivo externo, para
8166 lo cual se tomará la parte superior del pabellón auricular y se tracciona suavemente en dirección
8167 posterosuperior (figura 20-7).



8168
8169 **Figura 20-7. Técnica para alinear el conducto auditivo externo**

8170 Así también, para evaluar la membrana timpánica se recomienda que el examinador identifique los puntos
8171 de referencia dividiéndola en cuadrantes y observado la pars flácida en la cara superior, la pars tensa en
8172 la cara posterior y el reflejo luminoso en las caras inferior y anterior (figura 8). Así también, visualice el
8173 estado del anillo timpánico y el umbo.



8174
8175 **Figura 20-8. Diagrama de cuadrantes para la exploración visual de la membrana timpánica**

8176
8177 Finalmente se registran los resultados de este procedimiento en la ficha y registro de audiometría.
8178 Todo este proceso debe ser realizado bajo un procedimiento protocolizado con un orden determinado, y
8179 registrando los chequeos y verificaciones que se realizan para asegurar la validez de la evaluación
8180 obtenida. Adicionalmente, dentro de todas las etapas del proceso de evaluación se deben considerar las
8181 contraindicaciones y complicaciones.



8182

8183 **20.3.1.3** **Contraindicaciones y complicaciones del procedimiento de otoscopia:**

8184 El procedimiento de otoscopia es considerado un procedimiento seguro con un riesgo bajo de
8185 complicaciones, sin embargo, con el fin de evitar consecuencias graves y por la seguridad del evaluado
8186 siempre se debe tener presente que:

8187 Bajo las siguientes condiciones no se debe realizar la otoscopia:

- 8188 ➤ Trauma severo reciente en el oído (por ejemplo, fractura del hueso temporal o laceraciones
8189 profundas visibles)
- 8190 ➤ Presencia de un cuerpo extraño con forma cortante o puntiaguda
- 8191 ➤ Otorragia activa e intensa

8192 Bajo las siguientes condiciones se puede realizar otoscopia, siempre que se tomen las precauciones y
8193 cuidados adecuados para evitar complicaciones:

- 8194 ➤ Otitis externa grave
- 8195 ➤ Perforación timpánica conocida o sospechada
- 8196 ➤ Canal auditivo muy estrecho o con dolor intenso al tacto
- 8197 ➤ Infecciones dermatológicas en el pabellón auricular (ej. furúnculos, dermatitis severa, etc.)
- 8198 ➤ Anotia (ausencia total del pabellón auricular)
- 8199 ➤ Atresia parcial del conducto auditivo externo

8200 Para mayor información del protocolo a seguir para la evaluación de otoscopia y sus requisitos de calidad,
8201 se deben revisar los documentos de referencia del ISP emitidos en materia de evaluaciones auditivas del
8202 ámbito laboral (23, 24).

8203

8204

8205 **20.3.2 Examen de audiometría de programa de vigilancia de salud auditiva de personas trabajadoras** 8206 **expuestas a ruido ocupacional**

8207 El Ministerio de Salud de Chile, con el objetivo de estandarizar a nivel nacional el proceso de vigilancia de
8208 la pérdida auditiva inducida por ruido ocupacional, elaboró un protocolo que establece los lineamientos
8209 para la vigilancia ambiental del puesto de trabajo y la vigilancia de la salud auditiva de las personas
8210 trabajadoras expuestas a este agente de riesgo (25).

8211 La vigilancia de la salud auditiva definida en este protocolo corresponde a una vigilancia epidemiológica
8212 de efecto, que se realiza mediante la medición periódica del nivel de audición de las personas trabajadoras

8213 expuestas a ruido. Este proceso se lleva a cabo a través del **examen de audiometría de vigilancia en**
 8214 **terreno o en cámara audiométrica.**

8215 De acuerdo con el flujo del proceso de vigilancia de salud auditiva, se identifican cuatro etapas de este
 8216 protocolo asociadas a diferentes audiometrías de vigilancia, que son: audiometría de base, audiometría
 8217 de seguimiento, audiometría de confirmación y audiometría de egreso.

8218 Estas audiometrías tienen como objetivo monitorear el nivel de audición de población de personas
 8219 trabajadoras expuestas a ruido ocupacional a niveles de exposición en que existe riesgo de desarrollar
 8220 pérdida auditiva. La finalidad es buscar si se produce el efecto de daño en el nivel de audición de la persona
 8221 trabajadora por la exposición ocupacional a ruido, a través de la detección de la presencia de
 8222 desplazamiento permanente del umbral auditivo.

8223 **20.3.2.1 Equipamiento para la audiometría de programa de vigilancia**

8224 Audiómetro de tonos puros

8225 Para audiometrías de programa de vigilancia, el audiómetro debe cumplir como mínimo con los
 8226 requerimientos técnicos para un audiómetro tipo 4, según norma NCh 2509/1.0f2001(26) (norma
 8227 homóloga de IEC 60645-1: 2001) o ANSI S3.6-1996(27) o las versiones actualizadas de estas normas. En la
 8228 siguiente tabla se indican las características funcionales del tipo 4 tomando como referencia lo indicado
 8229 en norma NCh 2509/1 de 2001.

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES MÍNIMAS DE AUDIÓMETRO TIPO 4		
Conducción aérea	Dos auriculares	X
	Fono inserto	X
	Un auricular	---
Conducción ósea		---
Enmascaramiento		---
Aplicación de enmascaramiento		---
Interruptor de tono	Presentación/interrupción de tono	X
	Tono pulsado	X
Tono de referencia		---
Sistema de respuesta de sujeto		X
Salida de señal eléctrica auxiliar		---
Entrada para señales externas		---
Indicador de señal		---
Verificación audible de la señal de prueba		---
Comunicación hablada entre el operador y el sujeto		---

8230

8231 En relación a los niveles de audición y frecuencia de prueba, el audiómetro debe estar provisto con tonos
 8232 de prueba que incluyan al menos las frecuencias 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 6000
 8233 Hz y 8000 Hz. Los niveles de audición deben cubrir preferentemente el rango -10 a 70 dB HL, pero deben
 8234 cumplir al menos con el rango de 0 a 70 dB HL.

8235 La mantención del equipo audiómetro debe realizarse de acuerdo con lo indicado en la “Guía Técnica para
 8236 la evaluación auditiva de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a ruido”
 8237 del ISP (23).

8238 **20.3.2.2 Proceso de evaluación de audiometría de programa de vigilancia**

8239 Para realizar el examen de audiometría de vigilancia en cámara o terreno se deben contemplar una serie
8240 de etapas previas que incluyen la preparación y chequeo del equipo, evaluación de las condiciones del
8241 lugar de examen (ya sea en terreno o en sala de audiometría) y la verificación de las condiciones de la
8242 persona trabajadora. Estas condiciones irán cambiando, dependiendo del tipo de audiometría de vigilancia
8243 que se esté realizando y si se realiza en el Laboratorio de audiología o en terreno.

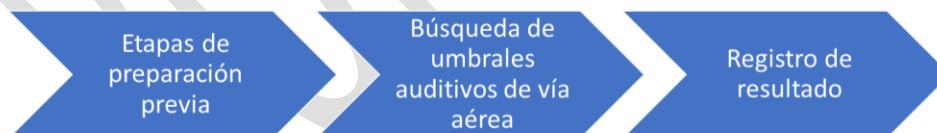
8244 Una vez superada la etapa de preparación previa y verificadas las condiciones adecuadas, se procede a la
8245 búsqueda de umbrales de audición aéreos, mediante la aplicación del examen de audiometría de
8246 vigilancia. Para ello, se utiliza como método de referencia la audiometría tonal liminar, a través del método
8247 descendente-ascendente modificado de Carhart y Jerger (28), aplicando la técnica de vía aérea sin
8248 enmascaramiento en cada frecuencia evaluada. A este método se le identificará como método AVA sin
8249 masking para cámara o terreno.

8250 El método AVA sin masking es práctico para procesos de cribado o monitoreo del estado de salud auditiva.
8251 Es un método de aplicación simple, rápido y rutinario que puede ser utilizado por personal de la salud
8252 general, que cuente con una capacitación específica y concreta para realizar este tipo de audiometría. Esto
8253 da la posibilidad de que los programas de vigilancia de salud auditiva cuenten con personal suficiente para
8254 una buena cobertura y buen nivel de acceso para las personas trabajadoras expuestas a ruido ocupacional.

8255 Considerando la fisiopatología de la pérdida auditiva por exposición a ruido, y el perfil audiométrico más
8256 frecuente (bilateral simétrico), el método AVA sin masking tiene un nivel de sensibilidad y especificidad
8257 que oscilan entre 91,8% a 98,5% y 88,0% a 96,3% respectivamente para la detección de daño auditivo, sin
8258 importar su magnitud (29, 30). Teniendo sólo presente que en casos de asimetrías iguales o superiores a
8259 40 dB entre ambos oídos aumenta la probabilidad de que ocurra la transmisión cruzada del estímulo (2),
8260 lo cual se debe contemplar al momento de interpretar su resultado.

8261 Todo esto se traduce en que el examen de audiometría de vigilancia a través de método AVA sin masking
8262 es un buen método para el monitoreo de la audición de personas trabajadoras con exposición a ruido
8263 ocupacional. Sin embargo, para la correcta aplicación de este método, es indispensable contar con las
8264 condiciones del entorno, equipamiento y personal indicados en el documento “Guía Técnica para la
8265 evaluación auditiva de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a ruido” del
8266 ISP (23).

8267 Una vez finalizada la evaluación auditiva, los resultados deberán anotarse en el audiograma del registro
8268 de audiometría correspondiente.



- Equipo
- Condiciones ambientales
- Persona a evaluar

8269
8270 El protocolo y descripción del método y técnica a seguir para la evaluación del examen de audiometría de
8271 vigilancia en terreno o cámara y sus requisitos de calidad, se describen en detalle en la “Guía Técnica para
8272 la evaluación auditiva de vigilancia de la salud de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a ruido”
8273 del ISP (23).

8274 **3.2.1. Ejemplo de la medición de presencia de daño en oído interno como herramienta para la**
 8275 **prevención y conservación de la audición de población de personas trabajadoras.**

8276 La población de personas trabajadoras expuestas a ruido y/o ototóxicos presentan un mayor riesgo de
 8277 desarrollar pérdida auditiva en comparación a la población general. La normativa actual establece la
 8278 obligatoriedad de implementar un programa de vigilancia ambiental y de salud para la población de
 8279 personas trabajadoras expuestas, lo cual incluye la implementación de medidas de control de esta
 8280 exposición.

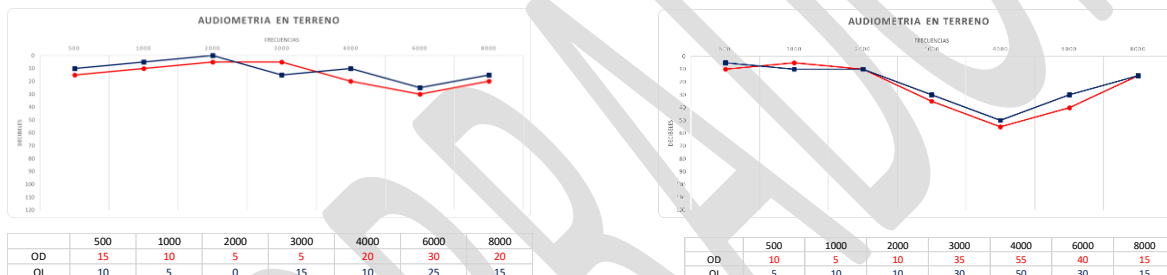
8281 A partir de esta situación, se debe considerar que, al medir la audición de una persona trabajadora de esta
 8282 población, la identificación positiva de efecto del daño, además de servir como detección precoz, se debe
 8283 considerar como un indicador de falla en la efectividad de las medidas de control implementadas para el
 8284 grupo poblacional que comparten la exposición (Grupo de exposición similar).

8285 Mientras que, a la inversa la ausencia del indicador de daño en la evaluación auditiva se debe considerar
 8286 como un indicador directo de la implementación de medidas de control efectivas, y por tanto un programa
 8287 de vigilancia implementado exitosamente, que permite la conservación de la audición de la población de
 8288 personas trabajadoras.

8289

8290 **Ejemplo de caso:**

8291 Se tiene una persona trabajadora expuesta a ruido ocupacional dentro de un programa de vigilancia, con
 8292 los siguientes resultados de exámenes de audiometrías de vigilancia.



8293

8294

8295

8296 Para identificar si hay daño por exposición a ruido se utilizará como métrica para este tipo de audiometría,
 8297 el desplazamiento permanente del umbral de acuerdo al criterio normado por MINSAL, y, por tanto, se
 8298 considerará que si al comparar las audiometrías, si existe un incremento del umbral auditivo de 15 dB HL
 8299 ó más, que implique presencia de hipoacusia, en al menos una de las frecuencias evaluadas de cualquiera
 8300 de los dos oídos, el examen será considerado como alterado.

8301

Oído	Frecuencias						
	500	1000	2000	3000	4000	6000	8000
OD 1	15 dB HL	10 dB HL	5 dB HL	5 dB HL	20 dB HL	30 dB HL	20 dB HL
OD 2	10 dB HL	5 dB HL	10 dB HL	35 dB HL	55 dB HL	40 dB HL	15 dB HL
Diferencia OD1 y OD2	5	5	5	30	35	10	5
OI 1	10 dB HL	5 dB HL	0 dB HL	15 dB HL	10 dB HL	25 dB HL	15 dB HL
OI 2	5 dB HL	10 dB HL	10 dB HL	30 dB HL	50 dB HL	30 dB HL	15 dB HL

Diferencia OI1 Y OI2	5	5	10	15	40	5	0
----------------------	---	---	----	----	----	---	---

8302

8303 En la segunda audiometría se evidencia un incremento de 15 dB HL ó más, que, además, implica presencia

8304 de hipoacusia. Esto se interpreta como desplazamiento permanente del umbral auditivo positivo, lo cual

8305 es producido por el efecto de la presencia de ruido en el oído de la persona trabajadora.

8306 A partir de este hallazgo se logran evidenciar:

8307 Daño auditivo precoz de la persona trabajadora

8308 Indicador (+) de presencia de ruido en el oído de la persona trabajadora.

8309 Esta última evidencia se traduce en que las medidas implementadas no fueron efectivas para controlar la

8310 exposición a ruido ocupacional en este puesto de trabajo, y por tanto, las medidas que este comparta con

8311 cualquiera de las otras personas trabajadoras que están bajo su mismo tipo de exposición, debe ser

8312 revisado y modificado, y así prevenir que otra persona del grupo de trabajadores presente daño (+).

8313

8314 **20.4 EVALUACIÓN AUDITIVA MÉDICO-LEGAL (EAML):**

8315 La EAML corresponde a la evaluación auditiva que comprende la obtención de umbrales auditivos por vía

8316 aérea y ósea; curva logaudiométrica; pruebas de diapasones (Rinne y Weber) y una Impedanciometría.

8317 Además, incluye pruebas de adaptación patológica, reclutamiento y pseudoacusia, si las características

8318 audiométricas lo ameritan. Debe ser realizada en un laboratorio de audiología de un centro adscrito al

8319 Programa PECA (31). En caso de no existir concordancia entre las respuestas obtenidas en las pruebas

8320 audiométricas y/o impedanciometría, se deberá efectuar una segunda y última EAML en un plazo mínimo

8321 de 24 horas y no superior a un mes, resguardando el reposo auditivo mínimo de 12 horas fuera de

8322 ambiente ruidoso, siendo el examinador o examinadora quien determina la realización de esta nueva

8323 evaluación. Esta evaluación también considera previamente la evaluación de otoscopia.

8324

8325 **20.4.1 Equipamiento para la Evaluación Auditiva Médico Legal (EAML)**

8326 Audiómetro de tonos puros

8327 Para la EAML el audiómetro debe cumplir como mínimo con los requerimientos técnicos para un

8328 audiómetro tipo 2, según norma NCh 2509/1.of2001(26) (norma homóloga de IEC 60645-1: 2001) o ANSI

8329 S3.6-1996(27) o las versiones actualizadas de estas normas. En la siguiente tabla se indican las

8330 características funcionales del tipo 2 tomando como referencia lo indicado en norma NCh 2509/1 de 2001.

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES MÍNIMAS DE AUDIÓMETRO TIPO 2		
Conducción aérea	Dos auriculares	X
	Fono inserto	X
	Un auricular	---
Conducción ósea		X
Enmascaramiento	Ruido de banda estrecha	X
	Banda estrecha u otro ruido	---
	Ruido de banda ancha	X
Aplicación de enmascaramiento	Auricular contralateral	X

	Auricular ipsilateral	---
	Vibrador óseo	---
Interruptor de tono	Presentación/interrupción de tono	X
	Tono pulsado	X
Tono de referencia	Presentación alterna	X
	Presentación simultánea	---
Sistema de respuesta de sujeto		X
Salida de señal eléctrica auxiliar		X
Entrada para señales externas		X
Indicador de señal		X
Verificación audible de la señal de prueba		---
Comunicación hablada entre el operador y el sujeto		X

8331

8332 En relación a los niveles de audición y frecuencia de prueba, el audiómetro está provisto con tonos de

8333 prueba que incluyen como mínimo el rango de frecuencias de 125 a 8000 Hz en conducción aérea y el

8334 rango de frecuencias de 250 a 4000 Hz en conducción ósea. Los niveles de audición cubren al menos el

8335 rango -10 dB HL hasta una salida máxima de 100 a 120 dB HL; dependiendo de la frecuencia y el tipo de

8336 transductor.

8337

8338 Impedanciómetro

8339 El equipo impedanciómetro debe cumplir como mínimo con los requerimientos técnicos para un

8340 equipamiento de tipo 1, de acuerdo a la norma IEC 60645-5:2004 (32) o sus versiones actualizadas.

8341 En la siguiente tabla se indican las características funcionales del tipo 1 tomando como referencia lo

8342 indicado en norma IEC 60645-5:2004.

8343

CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES MÍNIMAS DE IMPEDANCIÓMETRO TIPO 1		
Frecuencia de la señal de sonda 226 Hz		X
Sistema de medición de la impedancia/admitancia auditiva	Ruido de banda estrecha	X
	Timpanometría en el plano de medida	X
	Timpanometría compensada del meato auditivo	X
Sistema neumático	Cambio manual de presión	X
	Cambio automático de presión	X
Sistema de activación de reflejo acústico	Recorrido contralateral	X
	Recorrido ipsilateral	X
	Estímulo acústico – Tono puro	X
	Estímulo acústico – Ruido de banda ancha	X
	Control del nivel de estímulo	X

Presentación de resultados	Pantalla o indicador visual	X
	Resultado impreso	X
	Interfaz de datos	X

8344

8345 Las mantenciones de los equipos utilizados para el examen de EAML deben realizarse de acuerdo con lo
 8346 indicado en la “Guía Técnica para la evaluación auditiva médico legal (EAML) de los trabajadores expuestos
 8347 ocupacionalmente a ruido” del ISP (24).

8348

BORRADOR



8349 **20.4.2 Proceso de evaluación de Evaluación auditiva médico Legal**

8350 Para realizar el examen de Evaluación audiológica médico legal se debe contemplar un proceso completo
8351 de preparaciones y chequeos de equipos, condiciones del lugar de examen y verificación de condiciones
8352 de la persona trabajadora a evaluar.

8353 El examen de EAML corresponde al conjunto de los exámenes de audiometría clínica e impedanciometría.
8354 Para la obtención del resultado del examen de audiometría clínica inserta en EAML utiliza para la
8355 determinación del umbral auditivo de vía aérea y ósea diferentes métodos, el cual el examinador definirá
8356 cual aplicar de acuerdo a la conducta de la persona evaluada, siendo así los siguientes métodos de
8357 audiometría tonal liminar disponibles que se pueden utilizar: el método ascendente o método bracketing
8358 (ISO 8253-1) (33), el método Carhart y Jerger (28), todo estos, aplicando la técnica de vía aérea y ósea
8359 para cada frecuencia. También se incluirá el método de audiometría vocal aplicando la técnica de
8360 construcción de curva logaudiométrica por cada oído, con al menos los puntos de umbral de detección
8361 de la voz, umbral de reconocimiento de la palabra y umbral de máxima discriminación. Si las características
8362 audiométricas lo ameritan se utilizará método de audiometría supraliminar para evaluar reclutamiento
8363 y/o adaptación patológica, las cuales se realizarán a través de las técnicas de Fowler, SISI, LDL, I.W.A., y
8364 técnicas de Carhart o S.T.A.T, respectivamente. Todas estas pruebas se podrán complementar con técnica
8365 de enmascaramiento, si así se requiere para mejorar la precisión de la medición realizada.

8366 También se incluirá el método de acimetría con técnicas de diapasones, aplicando las pruebas de Rinne y
8367 Weber.

8368 En caso de requerirse se aplicarán métodos de pseudoacusia utilizando las técnicas de Lombard o Stenger.

8369 Para la obtención del resultado del examen de impedanciometría se utilizan los métodos de
8370 Timpanometría con tono de prueba de 226 Hz y umbral del reflejo estapedial ipsilateral y contralateral.
8371 Adicionalmente se realizará la identificación de la presencia de fenómeno de Metz. Y en caso de que se
8372 presenten los requisitos audiológicos necesarios, se realizará el deterioro del reflejo acústico y/o prueba
8373 de función tubaria.

8374 El protocolo y descripción de todos los métodos y técnicas a seguir para el examen de Evaluación
8375 Audiológica Médico Legal (EAML) y sus requisitos de calidad para su correcta aplicación, se describen en
8376 detalle en la “Guía Técnica para la evaluación auditiva médico legal (EAML) de los trabajadores expuestos
8377 ocupacionalmente a ruido” del ISP (24).

8378

8379 **20.5 EVALUACIÓN AUDITIVA DE REFERENCIA**

8380 El Instituto de Salud Pública de Chile (ISP) cumple el rol de ser Laboratorio Nacional y de Referencia en
8381 Salud Ocupacional. En el ámbito de audiología laboral, cumple la función de laboratorio de referencia para
8382 los exámenes de audiometría y examen de Evaluación Auditiva Médico Legal; a partir de esto, establece
8383 los métodos de referencia para dichos exámenes, así también, realiza capacitaciones y transferencias
8384 tecnológicas de estos métodos a los Laboratorios de Audiología Laboral.

8385 Por otro lado, evalúa y monitorea la red de los Laboratorios de Audiología Laboral que realizan el examen
8386 de Evaluación Auditiva Médico Legal (EAML) a través del Programa de Evaluación de Centros
8387 Audiométricos (PECA). También, cumple la función de realizar el examen de Referencia en su Laboratorio
8388 de Audiología Laboral, la Evaluación Auditiva Médico Legal de Referencia, para la aclaración de exámenes
8389 auditivos que presentan una validez dudosa o tienen un resultado no concluyente.



8390 Por tanto, en caso de cualquier duda de la validez de un examen del ámbito de salud ocupacional, será el
8391 Instituto de Salud Pública de Chile (ISP) el encargado de resolverlo, a través del examen de evaluación
8392 auditiva médico legal de referencia realizado en el Laboratorio de Audiología Laboral del ISP.

8393

8394

8395 20.6 REFERENCIAS

8396

8397 1. Pickles, J. O. (2012). An introduction to the physiology of hearing (Fourth edition.). Emerald Group
8398 Publishing, Limited.

8399 2. Katz J., Chasin M., English K., Hood L.J., Tillery K.L. Handbook of Clinical Audiology. Seventh
8400 Ed. Wolters Kluwer Health; 2015.

8401 3. Circular N° 3G/40, de 1983, del Ministerio de Salud, "Instructivo para la calificación y evaluación de las
8402 enfermedades profesionales del reglamento D.S. 109/1968, de la Ley 16.744", en lo que se refiere a la
8403 audición y equilibrio.

8404 4. Sliwinska-Kowalska, M., Zamyslowska-Szmytko, E., Szymczak, W., Kotylo, P., Fiszler, M., Wesolowski,
8405 W., and Pawlaczyk-Luszczynska, M. (2003). Ototoxic effects of occupational exposure to styrene and
8406 co-exposure styrene and noise, Journal of occupational and environmental medicine, 45(1), 15-24.

8407 5. Londoño, J.L., Restrepo, H., Corrales, A., Mendoza, F., Ortíz, J. (1997). Hipoacusia neurosensorial por
8408 ruido industrial y solventes orgánicos en la Gerencia Complejo Barrancabermeja, 1977-1997. Revista
8409 nacional Salud Pública; 15(1): 94-120.

8410 6. Instituto de Salud Pública de Chile. Nota Técnica N° 52 "Ototóxicos laborales primera parte:
8411 solventes orgánicos" [Internet]. 2017. Available from:

8412 <https://www.ispch.cl/sites/default/files/NotaTecnicaOtotoxicos.pdf>

8413 7. Leung C., Jai-sen, Ramos Y., Phoebe, Caro L., Jorge, & Winter D., Matías. (2022). El buceo recreativo y
8414 la otorrinolaringología: ¿Qué sabemos y deberíamos saber?. *Revista de otorrinolaringología y cirugía*
8415 *de cabeza y cuello*, 82(2), 229-243. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-48162022000200229>

8416 8. Sames, C., Gorman, D. F., Mitchell, S. J., & Zhou, L. (2019). The impact of diving on hearing: a 10-25
8417 year audit of New Zealand professional divers. *Diving and hyperbaric medicine*, 49(1), 2-8.
8418 <https://doi.org/10.28920/dhm49.1.2-8>

8419 9. Mata, J. (2024). Manual de audiología laboral [Handbook of occupational audiology]. Getxo, Biscay:
8420 Lettera Publicaciones, S.L. 525 pp. ISBN: 978-84-121623-5-6. *Auditio*, 8, e111.
8421 <https://doi.org/10.51445/sja.auditio.vol8.2024.111>

8422 10. Fosbroke, J. 1831. "Observaciones prácticas sobre la patología y el tratamiento de la sordera". (a) N.º
8423 I, págs. 535-537. (b) N.º II, págs. 645-648. (c) N.º III, págs. 740-743". *The Lancet MDCCCXXX-XXXI*
8424 (septiembre). https://ia800606.us.archive.org/26/items/B-001-003-438/The_Lancet_London.pdf

8425 11. Bryan, M., & Tempest, W. (1970). Cause for concern — noise pollution of the work environment.
8426 *International Journal of Environmental Studies*, 1(1-4), 99-105.
8427 <https://doi.org/10.1080/00207237108709403>

8428 12. Larsen, B. (1939). Investigations of professional deafness in shipyard and machine factory labourers.
8429 Munksgaard.

8430 13. Kristensen, H. K. (1946). Weaver's Deafness. *Acta Oto-Laryngologica*, 34(2-3), 157-175.
8431 <https://doi.org/10.3109/00016484609128372>

8432 14. Wittmack, D. - Über schädigung des gehörs durch Schalleinwirkung. *Z. Ohrenkeilkunde* 54:37-80, 1907

8433 15. Hu BH, Guo W, Wang PY, Henderson D, Jiang SC. Intense noise-induced apoptosis in hair cells of guinea
8434 pig cochleae. *Acta Otolaryngol.* 2000 Jan;120(1):19-24. PMID: 10779180.

- 8435 16. J. Kim, A. Xia, N. Grillet, B.E. Applegate, & J.S. Oghalai, Osmotic stabilization prevents cochlear
8436 synaptopathy after blast trauma, *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 115 (21) E4853-
8437 E4860, <https://doi.org/10.1073/pnas.1720121115> (2018).
- 8438 17. Vallejo, L., L.M., G.-C., & Gil-Carcedo, E. (2004). *Otología 2da edicion*. Editorial Medica Panamericana.
- 8439 18. Sharon G Kujawa, & M. Charles Liberman. (2009). Adding Insult to Injury: Cochlear Nerve
8440 Degeneration after "Temporary" Noise-Induced Hearing Loss. *The Journal of Neuroscience*
- 8441 19. Bunch, C.C. The diagnosis of occupational or traumatic deafness. A historical and audiometric study.
8442 *The Laryngoscope* 47:615-691, 1937.
- 8443 20. Larsen, B. - Investigations on noise in certain factories. *Acta Otolaryngol. (Stockh)*, 34:71-77, 1946.
- 8444 21. Almeida, H. - Influence of electric punch card machines on the human ear. *Archives of Otolaryngology*
8445 51:215-222, 1950.
- 8446 22. Mocellin, L. - Profilaxia dos traumatismos sonoros na surdez profissional. Curitiba, 1951. Tese de Livre
8447 Docência - Faculdade de Medicina da Universidade do Paraná.
- 8448 23. Instituto de Salud Pública de Chile, "Guía Técnica para la evaluación auditiva de vigilancia de la salud
8449 de los trabajadores expuestos ocupacionalmente a ruido".
- 8450 24. Instituto de Salud Pública de Chile, "Guía Técnica para la evaluación auditiva médico legal (EAML) de
8451 los trabajadores expuestos ocupacionalmente a ruido".
- 8452 25. Ministerio de Salud (MINSAL). Protocolo sobre normas mínimas para el desarrollo de programas de
8453 vigilancia de la pérdida auditiva por exposición a ruido en los lugares de trabajo (PREXOR). 2013.
- 8454 26. Norma NCh 2509/1:1999 Audiómetros – Parte I: Audiómetro de tonos puros.
- 8455 27. Norma ANSI S3.6 – 1996 "Especificaciones para audiómetros".
- 8456 28. carhart, r. & jeger, j. (1959) – "preferred method for clinical determination of pure-tone thresholds".
- 8457 29. Wang YF, Wang SS, Tai CC, Lin LC, Shiao AS. Hearing screening with portable screening pure-tone
8458 audiometer and distortion-product otoacoustic emissions. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei)*. 2002
8459 Jun;65(6):285-92. PMID: 12201570.
- 8460 30. Makaruse N, Maslin MRD, Shai Campbell Z. Early identification of potential occupational noise-induced
8461 hearing loss: a systematic review. *Int J Audiol.* 2025 May;64(5):419-428. doi:
8462 10.1080/14992027.2024.2418354. Epub 2024 Oct 28. PMID: 39468424.
- 8463 31. Circular Nº 3G/40, de 1983, del Ministerio de Salud, "Instructivo para la calificación y evaluación de las
8464 enfermedades profesionales del reglamento D.S. 109/1968, de la Ley 16.744", en lo que se refiere a la
8465 audición y equilibrio.
- 8466 32. Circular B33/47 2009: Modifica Circular Nº3G/40, 1983, del Ministerio de Salud, "Instructivo para la
8467 calificación y evaluación de las enfermedades profesionales del reglamento D.S. 109/1968, de la Ley
8468 16.744", en lo que se refiere a audición.
- 8469 33. Norma IEC 60645-5: 2004 Equipos audiométricos Parte 5: Instrumentos para la medición de la
8470 impedancia/admitancia acústica auditiva.
- 8471 34. Norma ISO 8253-1:2010 Acoustics – Audiometric test methods – Part 1: Pure-tone air and bone
8472 conduction audiometry.
- 8473 35. Instituto de Salud Pública de Chile, "Libro de apuntes de webinar: Pérdida auditiva de trabajadores
8474 con exposición a ruido ocupacional: consideraciones para determinar el daño auditivo laboral y
8475 establecer la magnitud de su incapacidad", 2024. [https://www.ispch.cl/wp-](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2024/12/LIBRO-DE-APUNTES-DE-WEBINAR-PERDIDA-AUDITIVA-LABORAL.pdf)
8476 [content/uploads/2024/12/LIBRO-DE-APUNTES-DE-WEBINAR-PERDIDA-AUDITIVA-LABORAL.pdf](https://www.ispch.cl/wp-content/uploads/2024/12/LIBRO-DE-APUNTES-DE-WEBINAR-PERDIDA-AUDITIVA-LABORAL.pdf)