

CONTAMINANTES QUIMICOS EN LOS AMBIENTES DE TRABAJO

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN A LA HIGIENE DEL TRABAJO:

De acuerdo a la definición de salud ocupacional del Comité de Expertos de la OIT/OMS que señala: *La salud ocupacional tiene como finalidad promover y mantener el más alto grado de bienestar físico, mental y social de los trabajadores en todas las profesiones; evitar todo daño a la salud causado por las condiciones de trabajo; protegerlos en sus ocupaciones de los riesgos resultantes de la presencia de agentes nocivos; ubicar y mantener a los trabajadores en tareas adecuadas a sus aptitudes fisiológicas y psicológicas y , en suma, adaptar el trabajo al hombre y cada hombre a su trabajo;* es relevante el desafío propuesto a los actores que intervienen en el conjunto de dar y ejecutar trabajo para cumplimentar estas premisas.

El responsable de Higiene y Seguridad en el Trabajo de las empresas cuenta con dos herramientas básicas para llevar adelante esta tarea: la **Higiene Industrial y la Seguridad Industrial**.

- **Higiene Industrial:** es la ciencia que tiene por objeto la determinación, evaluación y control de los factores ambientales o tensiones que se originan en el lugar de trabajo que pueden causar enfermedad, perjuicios a la salud o ineficiencia entre los trabajadores.

- **Seguridad Industrial:** es la ciencia que tiene por objeto la prevención de accidentes en el trabajo.

Los factores del medio ambiente laboral que tiene en cuenta la Higiene Industrial los podemos clasificar en las siguientes categorías:

a) Físicos.

- Ruidos y vibraciones.
- Radiaciones. (ionizantes y no ionizantes)
- Estrés térmico (calor ó frío)
- Presiones atmosféricas distintas a la Normal
- Otros.

b) Químicos (a desarrollar en esta asignatura)

- Sustancias químicas contaminantes del aire.

c) Biológicos.

- Infecciones originadas en el trabajo por virus, bacterias, hongos y protozoarios.

d) Ergonómicos.

Ejemplos:

- Posición del cuerpo en relación a la tarea.
- Repetición de movimientos.
- Tensión originada por el trabajo y fatiga.
- Levantamiento de cargas

Estos factores están ligados a la aparición de enfermedades profesionales, entendiendo por tal a aquella de aparición previsible y de manifestación lenta y gradual, resultante de una acción débil o insensible pero prolongada, originada en las condiciones en que se realiza el trabajo.

CONTAMINANTES AMBIENTALES

Las actividades humanas impactan también al *Medio Ambiente General* por la emisión de sustancias químicas y su difusión en la zona. Esta descarga se efectúa a través de chimeneas y ventilaciones en general.

Las diferencias básicas ante el análisis de una contaminación en el ambiente laboral y la correspondiente atmosférica las podemos observar en la siguiente tabla

Variable	CONTAMINACIÓN	
	Atmosférica	Laboral
- Tiempo de exposición de las personas	- Hasta 24 horas	- Ocho horas diarias
- Población afectada	- Vecindario en general Incluye a niños, ancianos, enfermos.	- Trabajadores Individuos bajo control del empleador y entre 18 a 65 años
- Efectos estudiados	-Sobre la salud de las personas , sus bienes; el daño a los animales, la vegetación, visibilidad, las molestias, etc	-Sobre la salud de los trabajadores

De lo expuesto se observa la importancia en distinguir al Medio Ambiente Laboral del General (muchas veces denominado vecinal), al que le caben otros criterios de estudio y Legislación Asociada de acuerdo a los distintos riesgos que plantea.

Métodos empleados para la determinación de los límites de exposición

Los métodos utilizados en la investigación y el desarrollo de los límites de exposición admisibles son:

- o los estudios epidemiológicos
- o la experimentación y experiencias de exposición humana
- o la experimentación con animales
- o la analogía química

El estudio epidemiológico basado en situaciones reales, es el mejor método existente para conocer las correlaciones entre las exposiciones ambientales y los efectos producidos sobre la salud (lo que se conoce como correlación “ causa-efecto”).

Su inconveniente principal es el largo período de tiempo necesario para obtener resultados significativos (15 a 20 años), sumado a 1) los cambios tecnológicos constantes que se producen durante ese período y 2) la aparición de nuevas sustancias; que obliga a recurrir a los estudios de experimentación o los de analogía química.

El método de extrapolación por analogía química resulta ser el más rápido y económico, pero no ofrece una garantía elevada. Como ya se dijo anteriormente, dentro de una misma familia química pueden presentarse respuestas toxicológicas diferentes.

Dentro del campo experimental aparecen dos líneas: la experimentación humana y con animales.

La experimentación humana encuentra el escollo de problemas de índole ético y moral, no permitiéndose el abuso de estas prácticas sobre las personas debido al daño que estas le podrían generar. Se dedica casi exclusivamente a obtener algunos datos toxicológicos tales como irritaciones, respuesta alérgica, olores, rutas metabólicas, etc.

Los estudios toxicológicos con animales son las prácticas en las cuales se basan la mayoría de los límites establecidos.

En el trabajo con animales se comienza por determinar las exposiciones que producen respuestas características de un efecto perjudicial determinado. La dosis que produce efectos comprobables y estadísticamente válidos se denomina : **criterio de daño**.

Para establecer el **límite admisible**, se toma este valor y se lo divide por un factor de seguridad que varía en un amplio margen (10 a 5000) dependiendo del tipo de riesgo del cual de lo deba proteger al hombre. Por ejemplo, una sustancia cuyo efecto sea irritación puede tener un factor muy bajo respecto a otra cuyo efecto puede ser cancerígeno. El objetivo de estos estudios es extrapolar los datos de los

experimentos con animales al hombre, sin embargo esta operación es difícil debido a que

- a) la especie puede ser más o menos susceptible que el hombre, no tanto por el efecto directo sobre los tejidos sino por diferencias en los factores de absorción, excreción y metabólicos
- b) los animales dentro de una especie son mucho más homogéneos que el hombre
- c) las condiciones de experimentación son mucho más uniformes y controladas que cualquier exposición laboral
- d) en los animales ciertos efectos no son observables, por ejemplo: dolor de cabeza, ansiedad.
- e) algunas sustancias ejercen efectos muy diferentes en el hombre y en los animales

Como regla general se acepta:

- o si hay varias especies que con dosis iguales reflejan efecto iguales, el hombre se supone también igual,
- o si hay varias especies con distinta sensibilidad, se supone que el hombre es igual a la más sensible.

El límite admisible obtenido al aplicar el factor de seguridad al criterio de daño, nunca representa una absoluta seguridad y refleja un compromiso entre la salud del trabajador y el funcionamiento de los procesos industriales.

En higiene se entiende como **nivel de acción** como aquel a partir del cual se requiere un seguimiento del personal expuesto mediante exámenes de salud y evaluaciones en el ambiente más frecuentes. Es un concepto establecido por la OSHA (Occupational Safety and Health Administration) y corresponde a la mitad de la concentración admisible.

Legislación Vigente

1) Origen

Los límites adoptados en nuestra legislación son tomados de los establecidos por la American Conference of Governmental Industrial Hygienists denominados “Valores Límites Umbrales “(Threshold Limit Values) que son mundialmente reconocidos.

= Características de la ACGIH según su propia presentación

- Es una Asociación Científica, privada sin fines de lucro, cuyos miembros son Higienistas Industriales u otros profesionales dedicados a la salud y seguridad ocupacional.
- No es una Organización que fija estándares
- Propone guías conocidas como TLVs valores límites umbrales y BEIs índices biológicos de exposición ; para uso en Higiene Industrial con miras a la toma de decisiones con respecto a los niveles seguros de exposición de varios riesgos encontrados en el ambiente laboral.
- Publica anualmente sus TLVs and BIEs, que son guías para ser usadas por profesionales entrenados:
 - * no son establecidos para ser usados como estándares,
 - * no son valores consensuados,
 - * son el resultado de una opinión científica, basados solamente en efectos sobre la salud sin consideraciones de factibilidades económicas ó técnicas,
 - * pueden proveer un valor de entrada en un análisis de caracterización de riesgos,
- La ACGIH cree que los TLVs and BIEs no deberían ser adoptados como estándares sin un análisis de otros factores necesarios para tomar apropiadas decisiones en valoración de riesgos.

= Procedimiento de asignación de los TLVs Ó BEIs por la ACGIH

1) Cada comité selecciona las sustancias bajo estudio f (uso, disponibilidad de datos, N° de trabajadores expuestos, edad de los TLV ó BEI)

Se publica en el libro anual y se invita a enviar datos y comentarios para asistir al Comité. Solo se tienen en cuenta las contribuciones relativas a las ciencias de la salud , no las de características técnicas y económicas.

2) Se realiza una búsqueda y estudio de información desde la literatura científica. Se genera un borrador que es analizado por el resto de los Comités y la Junta Directiva.

3) Una vez aprobada es publicada y mantenida en discusión pública durante 1 año.

4) Pasado ese período, sin encontrar o recibir información que cambie la opinión científica considerada, se eleva a la junta directiva para su adopción. Una vez ratificada es publicada como adoptada en el “Annual Reports of the Comités on TLVs and BEIs” y en el “Annual TLVs and BEIs Book”. Finalizando así su discusión pública

2) Encuadre legal de la temática

En un principio las exigencias técnicas en esta temática eran abordadas por el Decreto Reglamentario 351/79 donde se encontraban listados las sustancias y los límites admisibles correspondientes. En el Capítulo 9 del Decreto Art 61 punto 1 se establece “ la autoridad competente fijará concentraciones máximas permisibles para los ambientes de trabajo, que figuran como Anexo III como tablas de concentraciones máximas permisibles, las que serán objeto de una revisión anual a fin de su actualización. Cada vez que sea necesario, podrán introducirse modificaciones, eliminaciones y agregados”.

Así surgen las modificaciones introducidas en la Resolución N° 444/91 y en la N° 295/03.

Esta última es la actualmente vigente, y alcanza a la industria de la construcción por medio del Decreto 911/96 , el trabajo agrario por medio del Decreto 617/97 y la actividad minera por medio del Decreto 249/2007.

En líneas generales las actualizaciones y/o modificaciones se han producido aproximadamente cada 12 años; períodos que considero muy amplios respecto a los progresos que año tras año registra la ciencia de asignación y/o modificación de sustancias con límites admisibles establecidos.

- Ley de Higiene y Seguridad en el Trabajo N° 19587/72
 - o Sanciona y promulga: presidente de la nación
 - o Doce artículos
- Decreto Reglamentario 351/79 de la Ley 19587
 - o Sanciona: el Presidente de la Nación
 - o Autoridad de Aplicación Actual : Superintendencia de Riesgos del Trabajo
 - o 232 artículos, 24 capítulos y VIII anexos
 - o Capítulo 9 – Contaminación Ambiental – Artículo N° 61 y anexo III
 - o En el Anexo III se fijan las concentraciones Máximas Admisibles
 - o Reglamenta detalladamente todos los aspectos de la Higiene y
 - o Seguridad en el Trabajo y es de aplicación a todas las actividades
 - o menos a la construcción y al agro.
- Resolución 444/91
 - o De acuerdo al Art N° 2 Dto 351/79, que faculta al ex Ministerio de Trabajo y Seguridad Social a modificar valores y requisitos establecidos en el Dto 351/79
 - o Modifica al Anexo III del Dto 351/79
- Decreto 911/96, Seguridad e Higiene en el Trabajo para la Industria de la Construcción
 - o Art. 118, adopta la Resolución 444/91
- Decreto 617/97, Seguridad e Higiene en el Trabajo para la Actividad Agraria
 - o Artículo 15, punto b) : adopta la Resolución 444/91
- Decreto 1057/03. Modificase los Decretos 351/79, 911/96 y 617/97, con la finalidad de facultar a la SRT para actualizar las especificaciones técnicas de los Reglamentos de Higiene y Seguridad en el Trabajo, aprobados por el poder Ejecutivo Nacional en virtud de la Ley N° 19587
- Resolución 295/03 del Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social
 - o Apruébense las especificaciones técnicas sobre ergonomía y levantamiento manual de cargas, y sobre radiaciones.
 - o Modifica el Decreto N° 351/79 (estrés térmico, contaminantes ambientales y ruidos). Deja sin efecto la Resolución 444/91 – MTSS.
 - o Art 4º: sustituir el Anexo III del Decretoto 351/79, modificado por la resolución 444/91, por los valores contenidos en el Anexo IV que forma parte de la resolución 295/03.

- o Son los de aplicación actual y alcanzan a los Decretos 351/79, 911/96 y 617/97 .
- Decreto 249/2007, Reglamento de Higiene y Seguridad para la Actividad Minera en su Art 51 adopta la Resolución M.T.E.S.S. N° 295/03.

3) Resolución 295/2003

Aspectos a destacar en:

a) los considerandos de la Resolución

- El artículo 5 del Anexo I del Dto N° 351/79 expresa que las recomendaciones técnicas sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo dictadas ó a dictarse por organismos estatales ó privados, nacionales ó extranjeros, pasarán a formar parte del Reglamento una vez aprobadas por esta Cartera de Estado .(Superintendencia de Riesgos del Trabajo)

- Que corresponde destacar, en tal sentido, que los incisos 1) y 3) del Artículo 61 Anexo I del citado Dto indica que la Autoridad Competente revisará anualmente y actualizará cada vez que sea necesario las Tablas de Concentraciones máximas Permisibles y que las técnicas y los equipos utilizados deberán ser aquellos que aconsejen los últimos adelantos en la materia.

b) Introducción

- Los valores de Concentración máxima permisible en el tiempo (CMP) hacen referencia a concentraciones de sustancias que se encuentran en suspensión aire

- Representan condiciones bajo las cuales se cree que casi todos los trabajadores pueden estar expuestos repetidamente día tras día a la acción de tales concentraciones sin sufrir efectos adversos para la salud

- Sin embargo, dada la gran variabilidad en la susceptibilidad individual, es posible que un pequeño porcentaje de los trabajadores experimente malestar ante algunas sustancias a concentraciones iguales o inferiores al límite umbral

- Aunque no se considera probable que se produzcan efectos graves para la salud como consecuencia de la exposición a concentraciones límites, la mejor práctica es mantener las concentraciones de toda clase de contaminantes atmosféricos tan baja como sea posible.

- El hecho de fumar (tabaco) puede actuar aumentando los efectos biológicos de los productos químicos que se encuentran en los puestos de trabajo y puede reducir los mecanismos de defensa del organismo contra las sustancias tóxicas.

- Estos límites están destinados a ser utilizados en la práctica de la Higiene Industrial como directrices ó recomendaciones para el control de riesgos potenciales para la salud en los puestos de trabajo y no para ningún otro uso, por ejemplo, para la evaluación o control de las molestias de la contaminación atmosférica para la comunidad, la estimación del potencial tóxico de la exposición continua e interrumpida u otros períodos de trabajo prolongados ó como prueba de la existencia o inexistencia de una enfermedad u estado físico.

Estos límites se deben usar como directrices para la implantación de prácticas adecuadas.

c) definiciones

- **Concentración Máxima Ponderada en el Tiempo (CMP):** concentración media ponderada en el tiempo para una jornada normal de trabajo de 8 horas día y una semana laboral de 40 horas a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin sufrir efectos adversos.
 - **Concentración Máxima Permisible para Cortos Períodos de Tiempo (CMP-CPT):** exposición media ponderada en un tiempo de 15 minutos, que no debe ser sobrepasada en ningún momento de la jornada laboral, aún cuando la media ponderada que corresponda a 8 horas sea inferior a CMP. Las exposiciones por encima de CMP (en la Resolución aquí menciona mal: CMP-CPT) hasta el valor límite de exposición de corta duración no deben tener una duración superior a 15 min. ni repetirse más de 4 veces por día. Debe haber por lo menos un período de 60 min. Entre exposiciones sucesivas de este rango. Se podría recomendar un período medio de exposición distinto de 15 minutos cuando lo justifiquen los efectos biológicos observados.
 - Concentración a la que pueden estar expuestos los trabajadores sin sufrir 1) irritación, 2) daños crónicos e irreversibles en los tejidos y 3) narcosis.
 - No es un límite de exposición independiente, sino que mas bien complementa CMP cuando se admite la existencia de efectos agudos de una sustancia cuyos efectos tóxicos son, primordialmente, de carácter crónico.
 - **Concentración Máxima Permisible – Valor Techo (CMP –C):** es la concentración que no debe ser sobrepasada en ningún momento durante la exposición en el trabajo.
 - En la práctica convencional de la higiene industrial, si no es posible realizar una medida instantánea, el CMP-C se puede fijar cuando las exposiciones son cortas mediante muestreo durante un tiempo que no exceda las 15 minutos, excepto para aquellas sustancias que puedan causar irritación inmediata.
 - Una única muestra de corta duración que es válida para comparar con el valor techo, no lo es para comparar con la CPM.
- En este caso se necesita un número de muestras suficientes, tomadas a lo largo del ciclo completo operativo o del turno de trabajo, que permitan determinar la concentración media ponderada en el tiempo, representativa de la exposición.

VALORES ACEPTADOS								
SUSTANCIA	N° CAS	CMP		CMP-CPT CMP-C		NOTACIONES	PM	EFFECTOS CRITICOS
		VALOR	UNIDAD	VALOR	UNIDAD			
Compuestos de Cr (VI) insolubles		0,01	mg/m ³	—	—	A1	Variable	Cáncer, irritación
Crotonaldehído	4170-30-3	—	—	C 0,3	ppm	A3 v.d.	70,09	Iritación
Cruformate	299-86-5	5	mg/m ³	—	—	A4, BEI	291,71	Colinérgico
Cumeno	98-82-8	50	ppm	—	—	—	120,19	Iritación, SNC
2,4 D	94-75-7	10	mg/m ³	—	—	A4	221,04	Iritación
DDT (Didorodifeniltri-cloroetano)	50-29-3	1	mg/m ³	—	—	A3	354,50	Convulsiones, hígado
Decaborano	17702-41-9	0,05	ppm	0,15	ppm	v.d.	122,31	SNC, función pulmonar
+ Demetón +	8065-48-3	(0,01)	ppm	—	—	BEI, v.d.	258,34	Colinérgico
Diacelona alcohol	123-42-2+	50	ppm	—	—	—	116,16	Iritación
+ Diazinón +	333-41-5	(0,1)	mg/m ³	—	—	A4, BEI, v.d.	304,36	Colinérgico
Diazometano	334-88-3	0,2	ppm	—	—	A2	42,04	Iritación, cáncer (pulmón)
Diborano	19287-45-7	0,1	ppm	—	—	—	27,69	SNC, función pulmonar
Dibromuro de etileno	106-93-4	—	—	—	—	A3, v.d.	187,88	Iritación, hígado, riñón
2-N- Dibutilaminoetanol	102-81-8	0,5	ppm	—	—	v.d.	173,29	Iritación, colinérgico
+ Dichlorvos +	62-73-7	(0,9)	mg/m ³	—	—	A4, BEI, v.d (-),	220,98	Colinérgico
Diciclopentadieno	77-73-6	5	ppm	—	—	—	132,21	Iritación
Dicloroacetileno	7572-29-4	—	—	C 0,1	ppm	A3	94,93	GI, neurotoxicidad, irritación
o-Diclorobenceno	95-50-1	25	ppm	50	ppm	A4	147,01	Iritación, hígado
p-Diclorobenceno	106-46-7	10	ppm	—	—	A3	147,01	Iritación, riñón
3,3'-Diclorobencidina	91-94-1	—	—	—	—	A3, v.d.	253,13	Iritación, dermatitis
1,4- Dicloro -2-buteno	764-41-0	0,005	ppm	—	—	A2, v.d.	124,99	Cáncer, irritación
Diclorodifluorometano	75-71-8	1000	ppm	—	—	A4	98,97	SCV
1,3-Dicloro-5,5 Dimetilhidantoína	118-52-5	0,2	mg/m ³	0,4	mg/m ³	—	197,03	Iritación
1,1 Dicloroetano	75-34-3	100	ppm	—	—	A4	97,97	Hígado, riñón, irritación
1,2 Dicloroetileno todos los isómeros	540-59-0; 156-59-2; 156-60-5	200	ppm	—	—	—	96,96	Hígado

Diclorofluorometano	75-43-4	10	ppm	—	—	—	102,92	Hígado
Diclorometano	75-09-2	50	ppm	—	—	A3, BEI	84,93	SNC, anoxia
1,1- Dicloro- 1- nitroetano	594-72-9	2	ppm	—	—	—	143,96	Iritación
1,3 Dicloropropeno	542-75-6	1	ppm	—	—	A3, v.d.	110,98	Iritación
Diclorotetrafluorometano	76-14-2	1000	ppm	—	—	A4	170,93	SCV, narcosis, asfixia
Dicloruro de etileno	107-06-2	10	ppm	—	—	A4	98,96	Hígado, narcosis
Dicloruro de propileno	78-87-5	75	ppm	110	ppm	A4	112,99	Iritación, SNC, hígado, riñón
+ Dicrotofos	141-66-2	(0,25)	mg/m ³	—	—	A4, BEI, v.d.	237,21	Colinérgico
+ Dieldrin	60-57-1	0,25	mg/m ³	—	—	A4, v.d.	380,63	Hígado SNC
Dietilonaamina	111-42-2	2	mg/m ³	—	—	v.d.	105,14	Hígado, riñón, sangre
Dietilamina	109-89-7	5	ppm	15	ppm	A4, v.d.	73,14	Iritación
2- Dietilaminoetanol	100-37-8	2	ppm	—	—	v.d.	117,19	Iritación, SNC
Dietilcetona	96-22-0	200	ppm	300	ppm	—	86,13	Iritación, narcosis
Dietilentriamina	111-40-0	1	ppm	—	—	v.d.	103,17	Iritación, sensibilización
Difenilamina	122-39-4	10	mg/m ³	—	—	A4	169,24	Hígado, riñón, sangre
Difluorodibromometano	75-61-6	100	ppm	—	—	—	209,83	Iritación, hígado SNC
Difluoruro de oxígeno	7783-41-7	—	—	C 0,05	ppm	—	54,00	Iritación, riñón
Dihidrocloreto de piperacina	142-64-3	5	mg/m ³	—	—	—	159,05	Iritación, lesión piel, asma, sensibilización
Diisobutilesclona	108-83-8	25	ppm	—	—	—	142,23	Iritación
Diisocianato de hexametileno	822-06-0	0,005	ppm	—	—	—	168,22	Iritación, sensibilización
Diisocianato de isoforona	4098-71-9	0,005	ppm	—	—	—	222,30	Dermatitis, asma, sensibilización
+ Diisocianato de 2,4 + tolueno (TDI)	584-84-9	0,005	ppm	0,02	ppm	A4 (-)	174,15	Iritación sensibilización
Diisopropilamina	108-18-9	5	ppm	—	—	v.d.	101,19	Visión, irritación
N-N Dimetilacetamida	127-19-5	10	ppm	—	—	BEI, v.d.	87,12	Reproducción, hígado
Dimetilamina	124-40-3	5	ppm	15	ppm	A4	45,08	Iritación
Dimetilnilina (N-N Dimetilnilina)	121-69-7	5	ppm	10	ppm	A4, BEI, v.d.	121,18	Anoxia, neurotoxicidad
Dimetilestirolo	14857-34-2	0,5	ppm	1,5	ppm	—	104,20	Iritación, dolor de cabeza

d) Tabla de Concentraciones máximas permisibles

Esta tabla contiene 7 columnas.

1ª) Sustancia: se presentan por orden alfabético los compuestos químicos regulados. Cabe destacar que dada la posibilidad de nombrar a una misma sustancia con diferentes acepciones ó formas; la búsqueda de su existencia debe abarcar todas las posibilidades.

2ª) N° CAS: para posibilitar la identificación de las sustancias se han adoptado varios sistemas de clasificación, de los cuales el organizado por el Chemical Abstracts es uno de los más aceptados, asignado en Número CAS particular a cada sustancia química conocida.

3ª) Valores admisibles de CMP en mg/m³ para partículas y ppm para gases y vapores.

4ª) Valores admisibles de CMP-CPT y CMP-C en mg/m³ para partículas y ppm para gases y vapores.

Solo son algunas sustancias las que poseen este valor asignado.

5ª) Notaciones: alerta sobre cuatro características propias que puede tener una sustancia

vd: posibilidad de ser absorbida por vía cutánea.

A: grado de carcinogenicidad asignado (apéndice A)

BEI: si posee índice biológico de exposición asignado

SEN: se refiere a la acción potencial de un compuesto para producir sensibilización.

6ª) PM: peso molecular de la sustancia.

7ª) Efectos críticos: son los efectos sobre los cuales el TLV's fue basado. Se corresponde con la ACGIH: TLVs Basis – Critical Effect(s) y proveen el órgano o sistema objetivo.

No lista todos los efectos nocivos importantes que la sustancia química puede producir

Al pié de la Tabla figura un listado de “ Equivalencia de los símbolos en las tablas de valores adoptados y en las propuestas de modificación” que ayuda a la interpretación de la misma.

El listado de equivalencias posee errores, aquí se registra el concepto correcto:

E. El valor es para la materia particulada que no contenga amianto ó menos del 1% de sílice cristalina Letra (E) posterior al CMP en columna valor/concentración (Ej cemento porlant , óxido de aluminio) Corresponde a la mal llamada D en la 295

F: fibras respirables: longitud mayor a 5 micrones, determinado por el método del filtro de membrana utilizando iluminación en contraste de fase. Letra (F) posterior al CMP en la columna valor/concentración (Ej: amianto todas las formas) Corresponde a la mal llamada E en la 295.

G Medido con el muestreador de polvo de algodón elutreador vertical. Letra (G) posterior al CMP en la columna valor (Ej algodón en rama, polvo). Corresponde a la mal llamada F en la 295.

H Solamente aerosol. Corresponde a la mal llamada G en la 295.

I Fracción Inhalable. Véase Apéndice D apartado A Letra (I) posterior al CMP en la columna valor/concentración (Ej: ácido 2-2 dicloro propiónico, Asfalto humos, Diquat, Glioxal, Hidroxitolueno Butirato (HTB), Molibdeno metal y compuestos, Níquel, como Ni elemental, PNEDF, Sílice amorfa) Corresponde a la mal llamada H en la 295

J. No incluye estearatos de metales tóxicos. Letra J en columna sustancias (Ej: estearatos) Corresponde a la mal llamada I en la 295

K No debe exceder de 2 mg/m³ de partículas respirables. Corresponde a la mal llamada J en la 295.

L La exposición por todas las vías debe controlarse cuidadosamente a niveles tan bajos como sea posible. La letra (L) posterior a CMP en la columna valor/concentración. No hay valores de límites admisibles establecidos en estos casos

(Ej Bencidina, beta naftilamina, Eterclorometil metileno)

Corresponde a la mal llamada K en la 295.

M. Esta clasificación es para ácido sulfúrico contenido en las nieblas de ácidos inorgánicos fuertes. Corresponde a la mal llamada L en la 295

P Excepto aceite de ricino, anacardo o aceites irritantes similares. (Ej Aceite Mineral)
Corresponde a la mal llamada M en la 295

e) Límites de desviación

Para la inmensa mayoría de las sustancias que tienen CMP, no se dispone de datos toxicológicos suficientes que garanticen un límite de exposición de corta duración. No obstante, se deben controlar las desviaciones o las variaciones por encima de la CMP, aún cuando el valor para 8 horas esté dentro del límite recomendado.

- o Para períodos de trabajo mayor a ocho horas, **Turnos de trabajo con horario especial** los valores de CMP se pueden corregir aplicando algunos modelos propuestos. Uno de ellos es el de Brief y Scala

* Cómputo diario

$$F_c = 8/h_d \times (24-h_d)/16$$

Donde:

F_c = factor de corrección

h_d: horas día

h_s: horas/semana

Para calcular el valor corregido **CMP corregido** hay que multiplicar F_c por los valores de CMP para ocho horas diarias / cuarenta semanales.

Este factor se aconseja aplicar para la CMP cuando se está expuesto entre 7 a 15 horas día.

a) Notación vía dérmica

- La designación de vía dérmica (v.d.) en la columna de notaciones se refiere a la existencia de una contribución potencial significativa de la absorción por vía cutánea a la exposición total de esa sustancia.
- La absorción dérmica incluye las membranas mucosas, los ojos y la piel.
- Para determinar la contribución relativa de la exposición dérmica a la dosis total se debe considerar el control biológico.
- El propósito de la notación n v.d. es el de alertar al usuario de que solamente el muestreo ambiental es insuficiente para cuantificar exactamente la exposición y que se deben establecer las medidas suficientes para evitar la absorción cutánea.

g) Asfixiantes simples, gases ó vapores inertes

- Diversos gases ó vapores actúan primordialmente sólo como asfixiantes sin más efectos fisiológicos significativos cuando están presentes a altas concentraciones en el aire. No es posible recomendar un valor límite umbral para cada asfixiante simple porque el factor limitador es el oxígeno disponible (contenido mínimo 18% en volumen).
- En la Tabla de Concentraciones Máximas Permisibles, por el nombre de la sustancia en columna Notaciones figura la leyenda “ Asfixiante Simple” (D)

h) Sensibilizante

- La notación sensibilizante en la columna Notaciones, se refiere a la acción potencial de un compuesto para producir sensibilización, confirmado por los datos en humanos ó animales. La notación SEN no implica que la sensibilización es el efecto crítico en que está basado el establecimiento del valor límite umbral ni de que este efecto sea el único con relación al valor límite de este compuesto.
- La ausencia de la notación SEN no significa que el compuesto no pueda producir sensibilización.
- Las CMP basados en la sensibilización pretendían proteger a los trabajadores de la inducción a este efecto y no intentaban proteger a los trabajadores que ya habían sido sensibilizados

Sensibilizantes:: Sustancias que producen reacciones del tipo inmunológico-alérgico

i) Mezclas

- Consideración especial merece, asimismo, la aplicación de los valores límites umbrales al determinar los riesgos para la salud que pueden estar relacionados con la exposición mezclas de dos o más sustancias.
- Apéndice C: cuando están presentes dos o más sustancias peligrosas que actúen sobre el mismo sistema de órganos, se deberá prestar atención primordial a su efecto combinado más que al de cualquiera de dichas sustancias por separado. A falta de información en contrario, los efectos de los distintos riesgos se deben considerar como aditivos.

Valor límite umbral de la mezcla

$$C1/T1 + C2/T2 + Cn/Tn = 1$$

- Se puede hacer excepciones a esta regla cuando halla motivo suficiente para creer que los efectos principales de las distintas sustancias nocivas no son, en realidad, aditivos sino independientes, como ocurre cuando los distintos componentes de una mezcla producen efectos puramente locales en distintos órganos del cuerpo humano.

Valor límite umbral de la mezcla

$$C1/T1 \text{ ó } C2/T2 = 1$$

- Algunas combinaciones de contaminantes ambientales, pueden darse efectos de acción sinérgica o potenciadora. En tales casos por el momento deben ser determinados individualmente.

j) Material particulado

= Para la materia particulada sólida y líquida, los valores límites umbrales se expresan en términos de partículas totales, excepto cuando se utilice la denominación de inhalable y torácica o respirable.

El término partículas totales se refiere a la materia aerotransportada muestreada con Cassette cerrado (sin tapón protector) de 37 mm de diámetro.

= Partículas no Especificadas de otra forma (PNEOF)

- No hay evidencia de efectos tóxicos específicos.
- Se han denominado tradicionalmente “ polvos molestos”
- Aunque pueden no causar fibrosis o efectos sistémicos, no son biológicamente inertes
- PNEOF son aquellas que no tienen amianto y menos de 1 % de sílice cristalina.
- Se establecen y se incluyen en la lista de valores límites umbrales adoptando una CMP de 10 mg/m³ para partículas inhalables y 3 mg/m³ para partículas respirables.
- Apéndice D: Criterio de muestreo selectivo por tamaño de partículas para aerosoles

Los valores límites selectivos por tamaño de partícula se expresan :

- 1) CMP de la masa de partículas inhalables (IPM-CMPs): correspondientes a aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto respiratorio
- 2) CMP de la masa de partículas torácica (TPM-CMPs): para aquellos materiales que son peligrosos al depositarse en cualquier parte de las vías pulmonares y la región de intercambio de gases
- 3) CMP de la masa de partículas respirables (RPM-CMPs) para aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases

La tabla de Concentraciones Máximas Permisibles, no es de ninguna manera una lista completa de todas las sustancias peligrosas utilizadas en la industria. Para un gran número de sustancias de toxicidad conocida no hay datos o son insuficientes para utilizarlos en el establecimiento de los CMPs.

Las sustancias que no estén en la lista de CMP no deben considerarse como no peligrosas o no tóxicas.

Cuando en un puesto de trabajo aparece una sustancia que no está en la presente lista se debe revisar la bibliografía médica y científica para identificar los efectos potencialmente tóxicos y peligrosos.

TIPOS DE MUESTREOS Y CALIBRACIÓN DE TRENES

Como ya hemos definido, los muestreos pueden agruparse en:

a) función de la ubicación del tren de muestreo

- En un punto fijo del ambiente (fijas).
- Sobre el trabajador (personales).

b) función del tiempo de muestreo

- Muestras de larga duración.
- Muestras de corta duración.

Otras clasificaciones posibles son en:

c) función de la obtención del resultado

Indirecto: el resultado de las determinaciones se obtiene luego de un análisis de laboratorio.

Directo: los valores de las concentraciones medidas son obtenidas en el momento de realizar las determinaciones, sin necesidad de un análisis posterior.

Estos equipos se denominan de lectura directa

d) función de las características del tren de muestreo utilizado

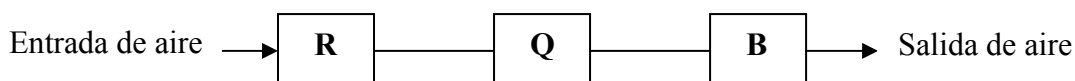
- **Activo:** es la recolección de sustancias suspendidas en el aire mediante un movimiento de aire forzado realizado por una bomba de muestreo que obliga al aire a 1) atravesar un tren de muestreo que contiene un elemento apropiado que retiene el compuesto químico de interés ó 2) introducirse en un dispositivo para su contención.

- **Pasivo:** es la recolección de gases y vapores suspendidos en el aire mediante un flujo de contaminantes gobernado por el proceso físico de la difusión molecular través de: capas de aire, la permeabilidad a través de una membrana y su retención en un medio específico particular que forma parte del muestreador. No hay movimiento activo de aire, no requieren bombas.

Tren de muestreo

Los trenes de muestreos están compuestos por tres elementos básicos. Los mismos varían en función del contaminante a relevar y sus características responden a normas de muestreo y análisis de contaminantes internacionalmente reconocidas.

Independientemente del contaminante en cuestión, un tren de muestreo para la captación de gases, vapores o partículas, es básicamente lo indicado en el esquema:



Donde:

R: elemento para retener el contaminante disperso en el aire entrante.

Este dispositivo debe:

- = tener una altísima eficiencia de retención del contaminante, dado que en él evaluaremos la masa colectada y la asociaremos a la contenida en el aire ingresado,
- = fijar el contaminante de manera estable durante el tiempo que separa la colección del análisis químico,

= ser capaz de soportar diferentes condiciones ambientales que se puedan presentar en los ambientes laborales sin deteriorarse ni perder sus propiedades,

= tener las características que le permitan ser procesado sin dificultades por el análisis químico cuantitativo posterior. En los casos que corresponda, la sustancia a analizar debe ser recuperada desde el medio de retención con alta eficiencia; debiéndose estudiar cuantitativamente en que porcentaje no lo es mediante ensayos de laboratorio de fijación – recuperación.

Ejemplos de estos son : los filtros de membrana y de fibra, los microburbujeadores y microimpactadores , los tubos de carbón activado, sílica gel y otros adsorbentes, la combinación ciclón - filtro, etc.

Q: caudalímetro. Este elemento mide el caudal de aire que circula y junto con el tiempo de muestreo permite conocer el volumen total de aire que atravesó el tren de muestreo.

La masa colectada y el volumen de aire circulado permiten calcular la concentración del contaminante en el ambiente estudiado. Los errores en la cuantificación de esta variable influyen directamente en el cálculo de la concentración objeto del estudio, dado que: $C = \text{masa colectada} / \text{volumen circulado}$.

Por otro lado, en los elementos de retención se especifica un caudal ó un rango de caudales de trabajo para el cual fueron diseñados. Este es otro rol importante que cumple el caudalímetro: asegurarse que el caudal esté en esos valores implica una eficiencia de colección óptima en el elemento de retención.

En higiene industrial el rotámetro es el principal elemento utilizados para este fin.

La placa orificio y la tobera también, esporádicamente, son empleadas.

B: la bomba de aspiración es el elemento que tiene la capacidad de generar la depresión necesaria para vencer las resistencias que al paso del aire se generan en la etapa de retención del contaminante y el medidor de caudal.



TRENES DE MUESTREO

Bombas de muestreo

Las Bombas de muestreo pueden ser autónomas a baterías y eléctricas.
Deben reunir una serie de condiciones y su selección depende de un variado espectro de posibilidades.
Las principales condiciones que debe reunir una bomba de aspiración para muestreo activo son:

- = Poder generar caudales de trabajo acordes al tipo de muestreo a llevar a cabo:
- * Las muestras de gases y vapores se toman a bajos caudales de muestreo, de 5 a 250 ml/min.
- * Las muestras de material particulado se toman a caudales mayores. Rango de caudales: 1 a 5 l/min. (más frecuente) ó de 5 a 30 l/min
El primer rango lo puede dar una bomba portátil con autonomía para realizar muestras personales de ocho horas.
El segundo rango corresponde generalmente a equipos no portátiles, más pesados y voluminosos.
Los caudales deben mantenerse en el tiempo. Las portátiles poseen baterías recargables de Ni/Cd que aseguran esta autonomía. Las más modernas son de ión litio, no poseen memoria que condicione su recarga y son ecológicamente más sustentable.
- = Poseer un flujo estable durante todo el tiempo de muestreo programado.
Las bombas, generalmente contienen dispositivos para neutralizar las pulsaciones temporales del flujo debido al tipo de impulsor empleado, como es el caso de los impulsores tipo a diafragma alternativo que poseen las bombas autónomas.
- = Ser muy resistentes para los usos que fueron diseñadas.
- = No poseer fugas ni entradas de aire adicionales.
- = Proteger su sistema interno del pasaje de líquidos o partículas dañinas por medio de un filtro de entrada.
- = Para algunos usos, poseer sistemas de compensación de caudal. Este dispositivo asegura una constancia de flujo ante caídas de presión adicionales debida al aumento de la pérdida de carga en la etapa de retención.

Algunos dispositivos comerciales relacionados a las bombas portátiles para ejecutar muestreo tipo personales se caracterizan además por:

- = Poseer sistemas de autocontrol para la programación de los tiempos de muestreo durante la jornada laboral.
- = Asegurar una autonomía mayor a ocho horas en las condiciones de muestreo establecidas.
- = Contener un rotámetro para medir el caudal de aire circulado ó en algún caso un sistema integrador del aire circulado
- = Ser compatibles a la interconexión con computadoras personales.
 - * Crean una hoja de información sobre el muestreo.
 - * imprimen el historial de la muestra.
 - * Crean un informe

En resumen, en la selección de una bomba de muestreo intervienen una serie de variables, principalmente se citan: el rango de caudales de trabajo y las contrapresiones logradas a determinados valores de flujo, el tipo de muestreo que se puede a llevar a cabo: de área ó personal, el peso del equipo, su complejidad de programación, su capacidad para trabajar con distintos elementos de muestreo que le da versatilidad, su autonomía y la posibilidad de poder emplearla en ambientes explosivos.

Para observar tipos de bombas y especificaciones aconsejamos visitar la página www.skinc.com

Bomba portátil

Bomba SKC 224-PCXR8 (5 a 5000 ml/min)

Para muestreos personales ó de área

Con tiempos programables del comienzo y de parada

Panel de Controles de
caudal, tiempo de
funcionamiento y
programación general



Salida de aire alternativa

para la bomba

Rotámetro medidor de
caudal

TREN DE CALIBRACIÓN

CALIBRADOR —————> TREN DE MUESTREO

= Burbuja indicadora

Es un medidor de caudal que consiste en una probeta (perforada en su base) ó bureta graduada invertida, por donde entra un tubo de vidrio al cual se adosa un tubo flexible, por este se conecta la probeta al equipo aspirante o impelente.

Debemos también contar con un vaso y solución jabonosa.

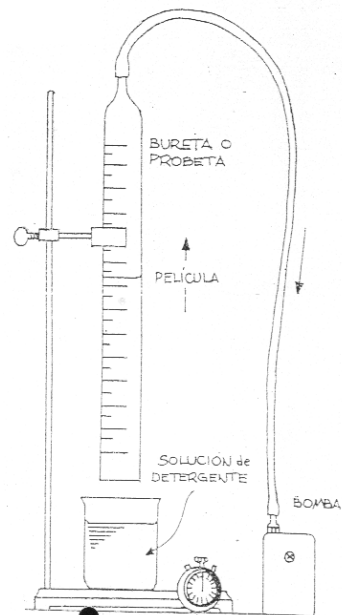
Se conecta el tubo con la bomba y se pone en marcha. Se toca el borde de la probeta con la solución jabonosa hasta que se forme una burbuja ascendente. Se repite este accionar hasta lograr que la burbuja recorra la probeta en toda su extensión sin romperse.

Formada una burbuja, se toma con un cronómetro el tiempo que tarda en transitar entre dos marcas.

El volumen de referencia y el caudal es igual al cálculo con el espirómetro



MODELO COMERCIAL



- Comercialmente podemos encontrar también dispositivos que trabajan con idéntico principio pero están automatizados. Un ejemplo es el Contador de burbuja electrónico.

* Trabajan con idéntico principio que los caudalímetros de películas manuales.

* Poseen sensores infrarrojos que toman electrónicamente el tiempo de pasaje de la película.

* Un microprocesador calcula instantáneamente el caudal y indica en forma digital.

= Características generales :

- son 600 veces más rápidos que los manuales.

- la repetitividad de los resultados es mayor.

- la precisión está dentro de un 0,5 %.

- la celda de flujo está probada contra derrames.

- Es calibrado en fábrica por norma que puede cotejarse en el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología. (certificados de trazabilidad). Se recomienda su recalibración anual.

= Condiciones de uso :

- proteger la celda de flujo contra la luz solar directa durante la calibración.

- se debe dejar estabilizar a la bomba durante 5 minutos.

- el jabón utilizado es concentrado y esterilizado.

- la celda se limpia solo con agua y jabón.



Fijación y concentración de los contaminantes sobre soportes.

La captación de contaminantes químicos por fijación y concentración de los mismos sobre soporte constituye la técnica más ampliamente usada y desarrollada. La gran mayoría de los métodos normalizados se basan en este concepto.

Si recordamos el tren de muestreo definido, lo que estamos analizando es la primera etapa ó de captación. Estos elementos deben ser concordantes con el estado físico, naturaleza y comportamiento de los contaminantes que deseamos analizar y capaces de retener la/s sustancia/s con altísima eficiencia. De no ser así estaríamos cometiendo un error sistemático en las evaluaciones.

Además: 1) la fijación del contaminante en el elemento de captación debe ser estable hasta el momento del análisis del mismo, siempre respetando las condiciones de preservación de la muestra durante su traslado y almacenamiento, 2) el elemento de captación debe permitir el desarrollo del análisis químico cuantitativo definido sin mayores dificultades, lo que elimina los errores por excesivos acondicionamiento de la muestra antes del análisis final, debiendo poseer además buenos coeficientes de recuperación del contaminante desde la matriz de retención, de ser necesario.

La toma de muestras se llevará a cabo teniendo presente que la capacidad de los elementos de captación es limitada, lo que impedirá cometer errores sistemáticos por colmatación, volatilización, migración, etc. del contaminante sobre el elemento de captación.

Los soportes de retención se pueden clasificar en función de ser aptos para: partículas ó gases y vapores. Diversos son los dispositivos para la retención de partículas, gases y vapores en suspensión en aire. A través del tiempo fueron cambiando en función de la aparición de nuevos límites admisibles; ya sea por disminución de los valores estipulados, la fijación de nuevas sustancias ó en algunos casos el establecimiento de límites relacionados con la deposición de partículas en una determinada zona del aparato respiratorio.

Todo esto obliga al desarrollo constante de nuevos dispositivos que acompañen las últimas investigaciones en la materia.

En este caso vamos a presentar los elementos que en la actualidad son los más comunes.

Retención de partículas

A) filtros de membrana y fibra

La retención material particulado se lleva a cabo por la combinación de diferentes mecanismos:

- + intercepción directa: ocurre cuando una partícula de radio R se acerca a una fibra a lo largo de la línea de corriente y pasa más cerca de la fibra que la distancia R , produciéndose el contacto y quedando retenida
- + impacto inercial: la partícula viaja en la corriente del fluido y encuentra un obstáculo (por ejemplo la fibra de un filtro), la línea de corriente se abre y la partícula en función de su inercia (relacionada con la masa) no es capaz de acompañar ese cambio de dirección, sigue su trayectoria original e impacta contra el obstáculo.
- + difusión browniana: las partículas muy pequeñas están en continuo y errante movimiento debido al choque de las moléculas del fluido contra las mismas. Al atravesar un filtro este movimiento puede hacerlas impactar sobre el material filtrante y así quedar retenidas. Este mecanismo desempeña un papel importante en partículas de diámetro del orden y por debajo del micrón
- + atracción electrostática: en función del tipo de material filtrante utilizado se generan cargas sobre su superficie con el paso del aire, estas producen atracciones y retenciones en el material filtrante de partículas mucho más pequeñas que el tamaño físico de los poros.

Como se observa la retención de partículas en un medio filtrante no depende, como en primera instancia se razona, exclusivamente de su tamaño de poro y el tamaño de las partículas a coleccionar. Existe una suma de mecanismos que se ponen en juego simultáneamente cuya participación en la eficiencia total de retención depende de: la velocidad de flujo pasante, las características del material filtrante, la distribución por tamaño y características de las partículas a coleccionar.

Las técnicas de muestreo y análisis de contaminantes especifican para cada sustancia las características del filtro a utilizar para obtener una alta eficiencia de retención, y que además para que sea compatible con el tipo de análisis químico que a posterior se lo deba someter.

Los principales tipos de filtros son:

- 1) Mezclas de ésteres de celulosa: son membranas de nitrocelulosa y acetato de celulosa. Uno de los más empleados es el de 0,8 micrones de diámetro de poro. Son ampliamente utilizados en técnicas analíticas de absorción atómica, emisión, espectrofotometría. Se digieren con facilidad para luego analizar el material recogido.
- 2) Cloruro de vinilo: membranas manufacturadas en PVC, son resistentes a los álcalis y ácidos concentrados. Su escasa afinidad con la humedad y baja tasa los hacen recomendables para el análisis gravimétrico.
- 3) Teflón: membranas manufacturadas en politetrafluoroetileno.(PTFE), son resistentes a los fluidos químicos y disolventes, mostrándose por naturaleza hidrofóbicos.
- 4) Fibra de vidrio: filtro de fibra sin unir, permite altos caudales de muestreo, son resistentes a la humedad y poseen una alta capacidad de retener sólidos.

5) Celulosa: filtros de fibra libre de cenizas y tratado con doble lavado ácido.

Para manipular los filtros con facilidad se introducen en un portafiltro de 37 mm. de diámetro constituido por tres partes. Un soporte de filtro tipo almohadilla se coloca con anterioridad para darle resistencia al paso del flujo.

Este dispositivo con los tres cuerpos colocados, tomado de la solapa del trabajador, y el orificio de entrada del aire mirando hacia abajo es la forma de muestrear partículas totales, y así poder comparar el valor hallado con la mayoría de los valores límites legislados en el Dto 295/2003, aquellos que no poseen al lado los supraíndices I, T ó R



PORTAFILTROS



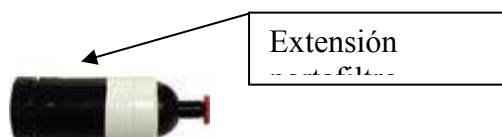
SOPORTE DE PORTAFILTRO PARA COLGAR EN LA SOLAPA DEL TRABAJADOR

Un caso especial a destacar son los filtros y portafiltros utilizados para muestrear fibras de amianto (asbestos)

Cabe recordar que las fibras poseen una dimensión preponderante relativa a las otras dos (su largo), y por esta se las mide.

El límite establecido para “amianto todas las formas” en el Dto 295/2003 es de 0,1 fibras por centímetro cúbico de aire, cuya longitud sea mayor a 5 micrones. Las fibras se depositan sobre un filtro de Esteres de Acetato de Celulosa para luego medirlas y contarlas por medio de un microscopio por el método de contraste de fase.

Para este caso se usan portafiltros de polipropileno de 25 mm. de diámetro, con una extensión (tubo de entrada) antes de llegar al filtro cuya función de uniformizar el flujo para que las fibras se distribuyan lo más uniformemente posible sobre el material filtrante y poder así contarlas y medirlas sin error del tipo sistemático. (Método NIOSH 7400)



Como hemos ya presentado, a veces los límites admisibles están relacionados con el lugar del sistema respiratorio donde quedan depositadas las partículas. En el Apéndice D se definen las denominadas fracción inhalable, torásica y respirable.

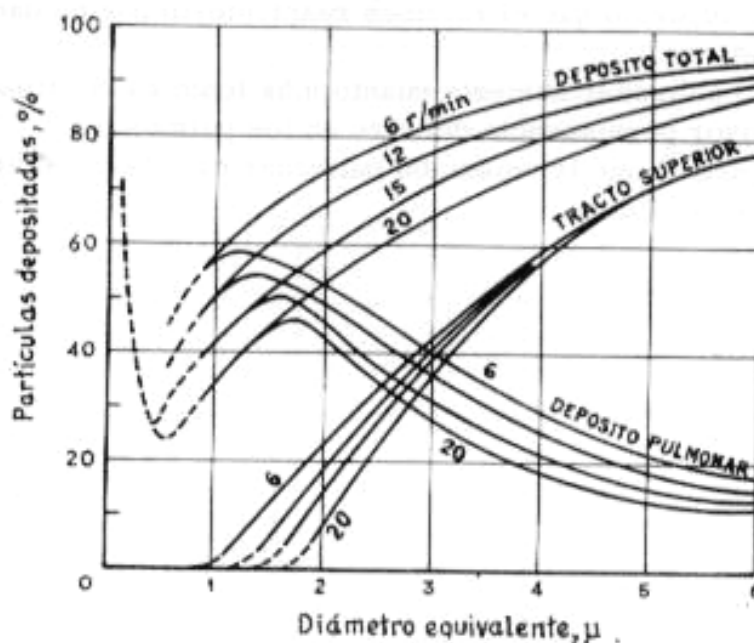
Para cualquiera de los casos las partículas están relacionadas con un diámetro que las caracteriza denominado : “ diámetro equivalente “.

Las curvas de deposición pulmonar total nos muestran que de las partículas inhaladas el porcentaje depositado aumenta con su tamaño aerodinámico desde un mínimo de 20 al 30 % para partículas de alrededor de 0,5 micrones hasta valores próximos al 100 % para partículas mayores a 5 micrones.

Entre 100 y 20 micrones son retenidas en la porción nasofaríngea por intercepción directa e impacto inercial. Entre 15 y 5 micrones la deposición es elevada en la zona traqueobronquial por impacto inercial y sedimentación. Por debajo de 5 micrones y hasta 0,5 la retención se produce casi exclusivamente por sedimentación por gravedad y ocurre predominantemente en el alveolo pulmonar.

Entre 0,5 y 0,1 micrones la mayoría de las partículas son exhaladas al exterior, pero el depósito aumenta para tamaños decrecientes por debajo de 0,5 micrones y por debajo de 0,1 micrones el mecanismo de retención es la difusión browniano.

El porcentaje de polvo depositado varía con la frecuencia del ciclo respiratorio, aumentando desde un valor mínimo que corresponde a 15 – 20 ciclos por minuto.



Depósito regional de partículas en el aparato respiratorio en función de su tamaño y del ritmo respiratorio.

Estudios han demostrado que la curva del porcentaje depositado en función del tamaño es similar para partículas de diferente densidad y forma, siempre que el tamaño se exprese como diámetro equivalente.

Diámetro equivalente se define como el correspondiente al diámetro de una esfera de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal de sedimentación que la partícula en estudio.

O sea dos partículas con diferentes tamaños, forma y densidad pueden tener un mismo valor de diámetro equivalente; su similitud es que ambas se comportan aerodinámicamente en forma similar respecto a tendencia a depositarse en la misma zona del tracto respiratorio.

El decreto 295/03 establece:

Los valores de CMP de la masa de partículas inhalables (IPM – CMPs) correspondiente a aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en cualquier parte del tracto superior

Según la Tabla 1 – Inhalable del Apéndice D, se observa que en esta categoría solo el 50% de las partículas dispersas en el aire con un diámetro equivalente a 100 micrones penetra en el sistema respiratorio y el resto lo hace en función de los porcentajes tabulados.

Existen límites admisibles legislados para este tipo de fracción, son los que aparecen con el supraíndice I al lado del valor de CMP.

Por ejemplo para partículas no especificadas de otra forma este límite es 10 mg/m^3

El concepto de partículas inhalables es equivalente al de partículas totales en el sentido de que se refiere a todas la partículas que dispersas en aire son capaces de penetrar en el sistema respiratorio.

La fracción inhalable es un concepto más reciente surgido de los últimos estudios y difiere de la fracción de partículas totales dado que considera que al tracto respiratorio ingresan partículas de 100 micrones de diámetro equivalente, que en el concepto de totales se consideraba que no acompañaban al aire inspirado.

Los valores límites admisibles para el criterio de inhalable están surgiendo de a poco.

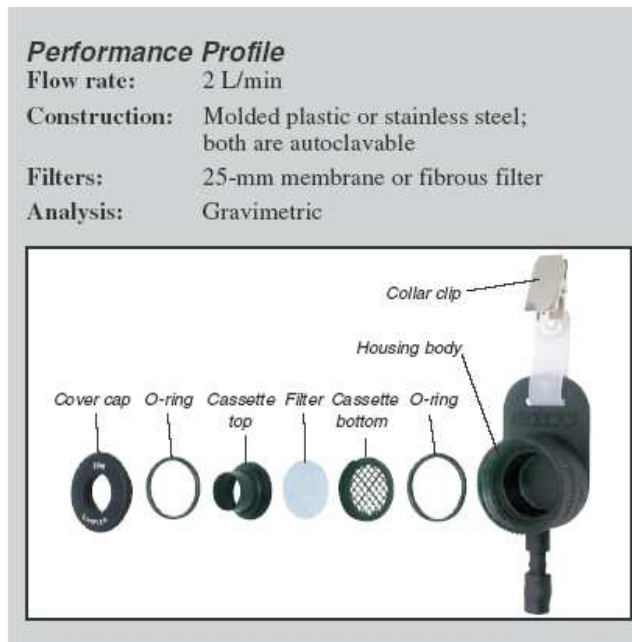
Para efectuar la toma de muestras en este caso, el dispositivo ya no es el protafiltro de 37 mm. de diámetro, se ha desarrollado elementos específicos como el “ Button Aerosol Sampler” de origen americano ó el “IOM Sampler” de origen Inglés. En ambos casos el elemento de retención colocado en la solapa, y el filtro enfrenta al medio ambiente; no como en el caso de partículas totales que “ miraba “ hacia abajo.

Button Aerosol Sampler

An Efficient Inhalable Sampler



The SKC Button Aerosol Sampler for inhalable dust sampling



IOM SAMPLER : An Internacional Estandar for Personal Inhalable Particulate Sampling.

Los valores de CMP de la masa de partículas respirable está definida para aquellos materiales que resultan peligrosos cuando se depositan en la región de intercambio de gases.

Según la Tabla 3 – Respirable del Apéndice D, la relación de porcentajes de partículas depositadas a nivel pulmonar en relación al diámetro equivalente de las mismas es la que figuran en la tabla presentada.

De esta tabla se desprende que las partículas inspiradas mayores a 10 micrones no llegan a los pulmones, que de las partículas de 4 micrones el 50 % llega a los pulmones y el resto queda retenido en el tracto respiratorio medio o superior y que de las partículas de 1 micrón el 97% llega a los pulmones y el 3% restante no.

Existen límites admisibles legislados para este tipo de fracción, son los que aparecen con el símbolo R al lado del valor de CMP

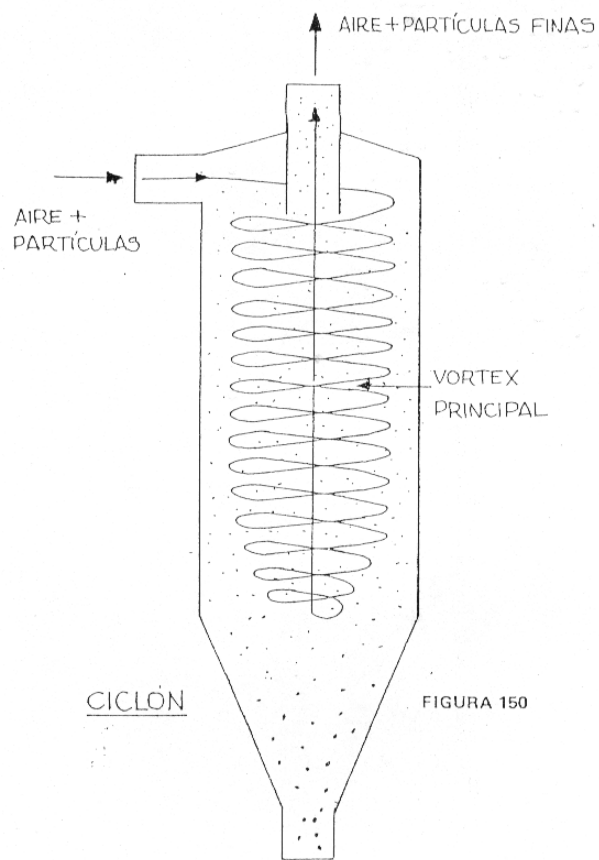
Por ejemplo para partículas no especificadas de otra forma este límite es 3 mg/m^3 .

Se han desarrollado dispositivos para representar el fenómeno de deposición pulmonar , es la única manera de poder correlacionar el valor hallado con el límite fijado.

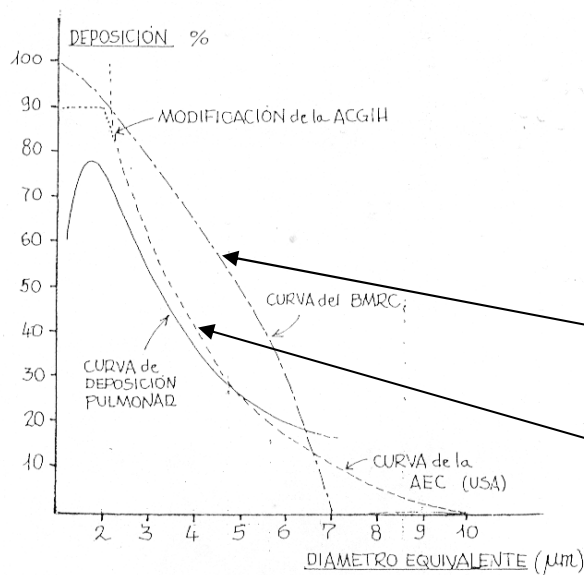
Estos son los denominados equipos de dos etapas. La primera etapa retiene las partículas con una curva de penetración (las que deja pasar) similar a la curva de deposición pulmonar en porcentajes por diámetros equivalentes. Luego una segunda etapa, un filtro de membrana, recoge la totalidad de las partículas que deja pasar la primera etapa y hace las veces de pulmón. En el filtro se encuentra la masa a ponderar para luego con el caudal de muestreo y el tiempo de funcionamiento calcular la concentración en el ambiente laboral y compararla con límite admisible para la fracción respirable.

Las partículas retenidas en la primera etapa no tienen interés higiénico y son descartadas.

El elemento de retención más conocido para actuar como primera etapa es el ciclón



El ciclón es un dispositivo con cuerpo cilíndrico en el cual el aire entra en forma tangencial y sale axialmente. Esta entrada produce un “vortex” (remolino) entre las paredes del tubo de descarga y el cuerpo del ciclón. Las partículas de mayor diámetro equivalente se dirigen a la pared por fuerza centrífuga, chocan y caen en un colector inferior. Las más chicas continúan en la corriente y salen por la descarga en un vortex interior que se forma.



Curva de penetración desarrollada por la

Curva de penetración desarrollada por la Comisión de Energía Atómica de EEUU, ídem a la desarrollada por el

Como segunda etapa se usa un filtro colocado en un portafiltro de 37 mm. de diámetro.

Este conjunto trabaja a un caudal normalizado que debe mantenerse durante toda la toma de muestra, dado que la curva de penetración del ciclón es la definida a un determinado caudal y con sus dimensiones típicas. Un cambio en el caudal generaría una velocidad tangencial de entrada distinta y por ende un cambio en la curva de penetración en función del diámetro equivalente de las partículas.

Comercialmente podemos destacar como dispositivos que responden a las curvas de fracción respirable ACGIH/ISO/CEN al ciclón de aluminio que trabaja a 2,5 l/min ó el de construcción plástico conductivo GS-3 que trabaja a 2,75 l/min..

En ambos casos las muestras pueden ser del tipo “personal”, se adaptan a portafiltros de 37 mm., evitan los errores producidos por efectos electrostáticos debido a que están contruidos por materiales conductivos

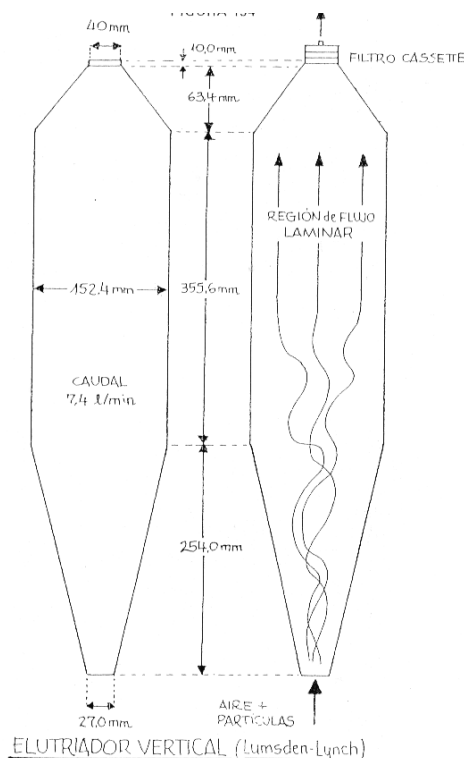
La orientación del ciclón es importante al tomar la muestra, debe colocarse vertical colgando de la solapa del trabajador, con la entrada libre hacia el ambiente.

Un caso especial de muestreo en dos etapas se requiere para el caso de valorar polvo de algodón.

El Dto 295/2003 fija el límite de “algodón en rama, polvo” en 0,2 mg/m³ tomado con elutreador vertical.

Se ha comprobado que las partículas que llegan a la porción torácica son las que origina la bisinosis, o enfermedad producida por el polvo de algodón, por esto se requiere una primera etapa que elimine las partículas mayores a 15 micrones de diámetro, incluidas las fibras.

El elutreador vertical es un tubo cilíndrico terminado en un cono truncado. El aire con las partículas en suspensión entra por la parte inferior y atraviesa el tubo lográndose un flujo laminar cerca del extremo superior, donde se coloca una segunda etapa constituida por un filtro en un portafiltro de 37 mm. de diámetro.



Este dispositivo, dado su tamaño permite solo la toma de muestras de área, y trabaja a un caudal normalizado de 7,4 l/min.

A este flujo y dado el diámetro de la cámara cilíndrica, se obtiene una velocidad de pasaje que solo arrastra a las partículas cuya velocidad terminal de sedimentación es inferior a este valor, que en este caso coincide con el diámetro de las partículas de interés higiénico buscadas; y que son recogidas en el filtro.

Nuevamente en este caso el valor de caudal es un factor crítico a mantener durante todo el tiempo de toma de muestras, y se lo consigue por medio de un tren de muestreo que contiene una bomba eléctrica y para medir el caudal a una placa orificio trabajando a régimen crítico.

GASES Y VAPORES

a.2.2.1) Retención por absorción gaseosa.

Las soluciones absorbentes fijan los contaminantes mediante procesos de solubilización u otras reacciones químicas (neutralización, oxidación, reducción, etc).

Se emplean distintos tipos de burbujeadores (impingers) con el fin de conseguir un área de contacto eficaz entre el aire y la solución, modificando el tamaño y número de burbujas y la cantidad de solución.

El microimpactador (uno de los dispositivos más comunes dentro de la familia de burbujeadores) es un dispositivo con un cuerpo cilíndrico que en uno de sus extremos se acopla un cabezal ensamblado mediante una unión fritada.

El cabezal posee un tubo central por donde entra el aire , el cual luego de burbujear en la solución sale por la rama lateral superior del cuerpo por donde se hace succión con una bomba de aspiración.

Para conseguir el mayor contacto posible hay burbujeadores que poseen fritada la salida del tubo del cabezal, esto lograr generar mayor y más pequeñas cantidad de burbujas aumentando así la superficie de contacto entre el aire con el contaminante y el líquido de absorción.

El caudal de muestreo juega un papel importante, ya que a menores caudales mayor es el tiempo de residencia del aire en el volumen de líquido colocado, logrando así mejores absorciones de gases o vapores.

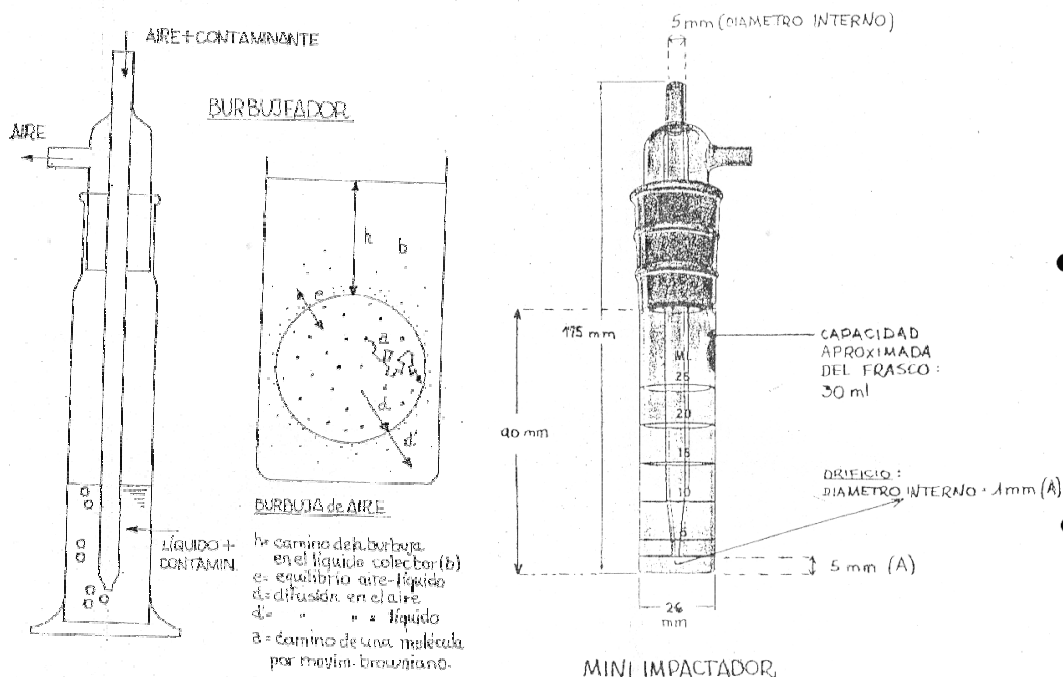
Los valores de caudales a usar vienen fijados en las técnicas de muestreo y análisis de referencia, para microburbujeadores rondan entre 0,5 a 1 l/min. Con estos dispositivos se pueden hacer muestras personales existiendo porta-burbujeadores que se pueden enganchar en la solapa.

De todos modos al ser de vidrio, pueden romperse ó se puede volcar la solución reactiva. Hay algunos modelos que poseen un sistema para no permitir el vuelco de la solución contenida.

Algunas técnicas colocan elementos en serie para aumentar la eficiencia de retención del contaminante.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la evaporación del líquido absorbente, que según su naturaleza y tiempo de muestreo puede ser importante.

Si la absorción química del contaminante viene acompañada con una reacción química del mismo en la solución para producir un compuesto soluble o insoluble, esto aumenta la eficiencia en la retención y fija el contaminante.



a.2.2.2 Retención por adsorción gaseosa

La adsorción gaseosa es un fenómeno por el cual moléculas líquidas o gaseosas son atraídas a una superficie sólida y mantenidas en la interfase gas-sólido a causa de la diferencia de energía de la interfase. Es un fenómeno de superficie, a diferencia de la absorción que es un fenómeno de volumen.

La magnitud de la adsorción a una temperatura dada depende del área de superficie del sólido expuesta al gas y de la concentración del contaminante en el aire.

Los materiales sólidos seleccionados para este fin tienen un área entre 200 a 1200 m² de área superficial por gramo de sólido, debido a la presencia de poros muy pequeños y en gran cantidad.

Podemos mencionar como materiales preponderantes al carbón activado, la sílica gel, hopcalita, alúmina, y polímeros sintéticos XAD, Poropak, Chromosorb y Tenax.

En la medida que están en contacto aire contaminado y sólido, la concentración del contaminante decrece en el aire debido a la transferencia de masa hacia el sólido, hasta llegar a un equilibrio a una temperatura dada.

Este equilibrio no se alcanza instantáneamente, es por esto que el contaminante puede o no tener tiempo suficiente para alcanzar el equilibrio de adsorción durante su pasaje por un lecho de sólido.

Debido a esto es muy importante la geometría del lecho, su largo y área, que junto con el caudal de pasaje determinan el tiempo de contacto, la forma y tamaño de las partículas del adsorbente afecta la resistencia al paso del aire.

El muestreo con tubos adsorbentes es el mejor método de colección de compuestos potencialmente peligrosos presentados en el aire en forma de gases y vapores. Normalmente los sólidos están contenidos en tubos de vidrio y distribuidos en su interior en dos secciones diferenciadas, sirviendo la segunda de

testigo de saturación de la primera, como regla general si la segunda sección contiene ó ha retenido más del 25% de contaminantes que la primera sección existe la posibilidad de pérdida de contaminante que ha pasado sin reaccionar y, según criterio NIOSH, la muestra se debe desechar.

Los tubos en su extremo se cierran con llama, los cuales se rompen en el momento del muestreo.

Durante la toma de muestras se deben colocar verticales para evitar canalizaciones en el material.

Una vez tomada la muestra se cierran en sus extremos con tapitas de plástico para su traslado, que muchas veces debe acondicionado en baño de hielo.

Los materiales pueden sufrir deterioros con las condiciones atmosféricas, por ejemplo no se deben usar tubos de carbón activado a más de 50 °C de temperatura ambiente ó 95% de humedad.

La capacidad de retención de estos dispositivos de toma de muestras viene condicionada a la presencia de otros compuestos que desplacen a los de interés en lo que respecta a la afinidad de retención del sólido adsorbente, por la tanto la composición del aire a muestrear debe conocerse para poder definir si un tubo puede ser usado en una determinada condición.

El desarrollo de estos elementos va cambiando constantemente la oferta de productos.

En este momento se ofrecen tubos con rellenos con recubrimientos especiales sobre el material adsorbente, con capas combinadas que permite recoger diferentes contaminantes desde una mezcla gaseosa compleja.

En la actualidad los tubos de desorción térmica van ganando mercado. A los tubos clásicos se le extrae el contaminante por medio de tratar el sólido adsorbente con un solvente adecuado y una porción del mismo (solo una parte del contaminante) se usa para valorizar los compuestos orgánicos de interés. En los tubos de desorción térmica se extraen los compuestos sometiendo al tubo a calor y a un flujo de gas inerte por medio del cual se extraen para su análisis toda la masa de contaminante retenida y se la hace pasar por un equipo de laboratorio, generalmente un cromatógrafo, para cuantificar los compuestos orgánicos presentes. Con estos tubos se pueden detectar niveles inferiores a la ppb de contaminantes en aire.





Criterios generales aplicado a los soportes de retención

En todo el proceso de toma de muestras resulta crítica la cantidad de muestra recogida y las interferencias.

Si bien todo método analítico recomienda un volumen de muestreo dado, el higienista debe coordinar todos los factores que concurren e influyen en la evaluación.

Del ambiente en estudio debemos conocer la composición cualitativa de las contaminantes presentes, la concentración esperada del contaminante a evaluar, las condiciones de temperatura, humedad y presión atmosférica del sector, y la duración del ciclo de fabricación.

De la técnica de muestreo y análisis debemos conocer los dispositivos a usar, los equipos para la colección y cuantificación y sus limitaciones, el caudal de muestreo a emplear, la sensibilidad conjunta de la técnica,

las interferencias potenciales que impiden ó limitan su aplicación, la estimación de los volúmenes mínimos y máximos de captación para estar por encima del umbral de sensibilidad del método sin saturar el dispositivo de retención y la exactitud general de la técnica.

Cuando es dudosa la presencia de otros compuestos es el medio que actuarían como interferencia, es recomendable obtener muestras cualitativas buscando confirmar su presencia.

Además los métodos como exigencia analítica ligada a la toma de muestras, obligan a la obtención de blancos de dos tipos: de campo y de laboratorio.

Los blancos de campo son elementos de retención (filtros, tubos de adsorción, etc) que son manipulados como una muestra más con la única salvedad de no haber pasado aire a su través. La información que se obtiene de estos sirve para encontrar los posibles errores sistemático que pueden producirse en los procedimientos de toma de muestras, envío y conservación.

Los blancos de laboratorio son elementos de retención ó reactivos utilizados para el análisis, que se los califica en base a la aptitud del servicio para los cuales se los vá a emplear y pureza.

La problemática que se deriva del transporte y conservación de las muestras va en función de los elementos de retención utilizados y del tipo de contaminante captado.

Se deben adoptar, en general, todas las medidas tendientes a evitar la alteración de las muestras. Las mismas se conservarán en hielo y se enviarán al laboratorio lo antes posible; sin mezclar muestras y materias primas y adjuntando al menos un blanco de cada lote

Todas y cada una de las muestras se identificarán con una referencia expresa de forma indeleble y se acompañarán de hojas de envío, una por cada técnica instrumental, especificando claramente las referencias, análisis solicitados, observaciones sobre aparecidos en la toma de muestras y demás datos de interés.

Internacionalmente los métodos de muestreo y análisis de la NIOSH son reconocidas como referentes. Conjugan desde su concepción y desarrollo una herramienta esencial en este campo de la técnica.

Sitio Internet: <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/>

Se aconseja entrar en el sitio y leer algunas de las normas. Los contaminantes se buscan por orden alfabético.

Fuentes de error comunes en el usos de medios de recolección de gases y vapores

- Mala manipulación y almacenamiento de muestras:
 - * Envío de bolsas en una cabina de avión despresurizada, con su posibilidad de rotura.
 - * Almacenamiento de bolsas por más de 24 - 48 hs.
 - * Análisis de tubos después de 2 ó 3 semanas, ó de soluciones absorbentes posterior a lo que exige la norma de muestreo.
 - * La no separación de las capas de sorbente ó filtros en el campo cuando así se lo requiere (por migración entre capas).
 - * La no refrigeración de los tubos de adsorción cuando así se requiere.
 - * El cierre defectuoso de tubos, bolsas ó burbujeadores una vez tomada la muestra, para evite fugas ó contaminaciones.
 - * La rotulación apresurada (ilegible) ó con medios factibles de sufrir borraduras totales ó parciales; sobre vidrios ó plásticos; ó el empleo de etiquetas factibles a despegarse.
 - * El embalaje deficiente de los recursos de colección ó la elección incorrecta del medio de transporte para evitar:
 - = rotura de tubos de adsorción ó de burbujeadores,
 - = vuelco de solución absorbente conteniendo el contaminante retenido,
 - = rotura de bolsas de muestreo.
 - * Colocar los tubos adsorbentes en posición horizontal mientras se muestra (estratificación de capas del sólido adsorbente)
 - * Exponer al sol a reactivos ó sustancias que sufran descomposición.
 - * No sujetar correctamente el medio de colección al soporte del que pende.
 - * No respetar el sentido de flujo marcado en los medios.
 - * Sobrellenar las bolsas de muestreo.
- Sobrepasar los requisitos de caudal y/ó volumen de aire.
- Usar tubos vencidos, burbujeadores mal lavados ó bolsas con restos de contaminantes.
- No disponer de blancos de campo.

Fuentes de error en el uso elementos de retención de material particulado

- Utilizar un tipo de filtro incorrecto respecto al indicado en la técnica correspondiente.
- Sobrecargar el filtro con material recogido.
- No cerrar herméticamente el portafiltro una vez incorporado el filtro correspondiente.
- Quebrar el filtro durante el manipuleo.
- Reusar los soportes de filtros que pueden estar contaminados.
- Usar un caudal incorrecto para el ciclón.
- Sacudir los filtros dentro de los portafiltros, ya utilizados durante el traslado.
- No utilizar blancos de campo

EVALUACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Aspectos a Considerar

¿Cuántas muestras son necesarias?

Si tenemos a un grupo de trabajadores que realizan la misma tarea, en una situación ideal todos deberían ser muestreados, pero esto suele ser muy costoso.

En este caso es conveniente seleccionar y muestrear al que podemos denominar “Empleado de Mayor Riesgo” (EMR). En general el mejor método para su elección es la observación del trabajo del grupo buscando: el trabajador que se encuentra más próximo a la fuente, el que más tiempo está dentro del ambiente donde está el proceso que libera el contaminante, ó el que posee hábitos de trabajo que lo exponen más al contaminante.

Una vez hecho esto y la evaluación correspondiente, el esquema a seguir es el siguiente:

- Si la evaluación del EMR cumple el límite legal, todos los demás trabajadores también lo cumplen.
- Si la evaluación del EMR no cumple el límite legal, se deben muestrear todos los trabajadores del grupo.

Siempre hay un trabajador de mayor riesgo dentro de un grupo, pero si no podemos hacer una selección confiable de él debemos seleccionar un número al azar de trabajadores ó subgrupo, que con cierta confiabilidad lo contenga.

La NIOSH propone que para lograr este objetivo con un 90 % de confianza de que al menos un trabajador de un subgrupo esté dentro del 10 % de los máximos niveles del grupo total (trabajador de mayor riesgo), el número de trabajadores a muestrear del total deberá elegirse desde la siguiente tabla:

Número de Trabajadores																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13	15	18	21	25	30	39	50	más de 50
										a 12	a 14	a 17	a 20	a 24	a 29	a 37	a 49		
Mínimo Número de Trabajadores a Evaluar																			
1	2	3	4	5	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22

- ⇒ Si es pequeño el número de trabajadores (de 1 a 7) debo muestrear a todos.
- ⇒ **A partir de 8 comienzan a disminuir el número de muestreos necesarios permitiendo conservar la confiabilidad buscada.**

¿ Dónde ubicamos el equipo de muestreo?

En relación con la ubicación del tren de muestreo. Los muestreos se pueden clasificar en:

- ⇒ **De ambiente general:** el equipo se coloca en un lugar fijo del ambiente de trabajo a la altura de la cabeza del trabajador, se estudia luego la permanencia en cada lugar del trabajador.

Hay una mala relación demostrada en la práctica empleando este método entre la concentración hallada y la dosis real a la que el trabajador está expuesto. Se ha comprobado que gran parte de la contaminación a que está expuesto un operario es generada por él mismo y a una distancia corta de su cuerpo.

No es aconsejable utilizarse este método para la valoración de un exposición a menos que se tomen muestras a menos de un metro de la zona respiratoria del operario en tareas estacionarias.

En general este tipo de muestreo se utiliza para:

- Evaluar los controles de ingeniería antes y después de la Instalación.
- Realizar un muestreo perimetral de un área determinada.
- Indicar situaciones de emergencia usando instrumentos de lectura directa conectados a un sistema de alarma. Estos sensores están continuamente monitoreando
- Equipos de muestreo voluminosos.

⇒ **Personal:** en este caso el equipo de muestreo se coloca sobre el trabajador quien lo porta durante las operaciones y descansos. El elemento de captación del contaminante se coloca en la solapa de la camisa o delantal de trabajo, asegurando que la concentración del contaminante en el aire en la zona de toma del mismo sea similar a la que el trabajador respira.

En este caso la muestra es representativa de la exposición real.

Ventajas del muestreo personal y su utilización

- Es la medida más exacta de la exposición de un trabajador.
- Para evaluar cambios en las prácticas laborales (antes y después de las mismas).
- Permite la mejor comparación con los límites de exposición ocupacional.
- Permite la educación de los trabajadores en cuanto al control de las exposiciones a las que están sometidos.

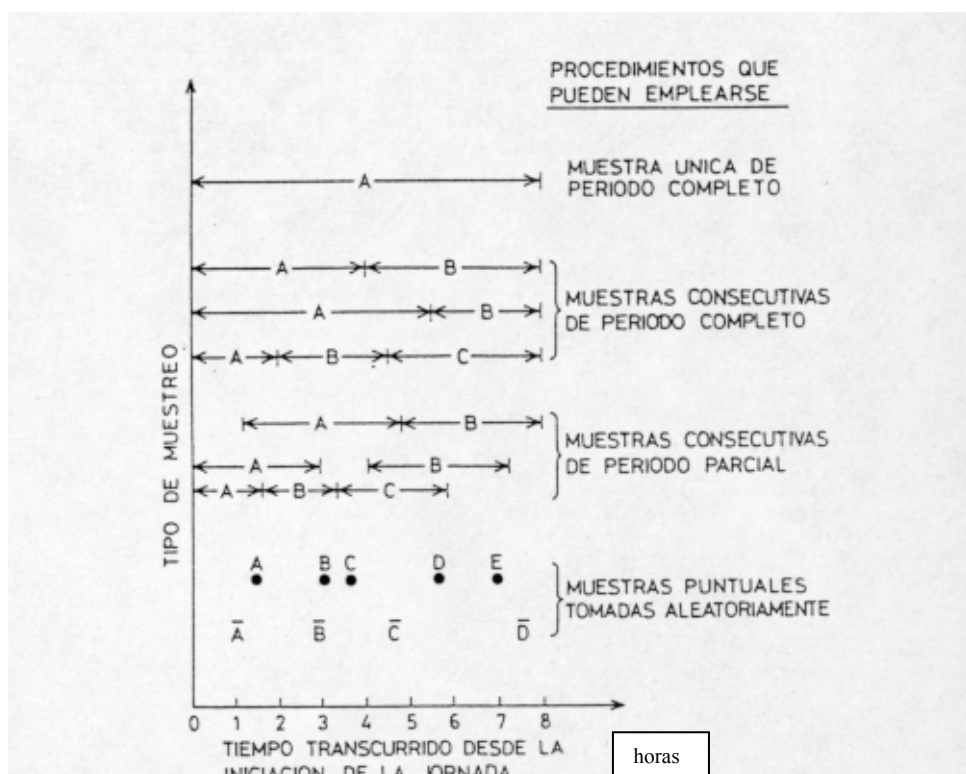
Inconvenientes

- Se debe trabajar con el equipo sobre el cuerpo, con la posibilidad de roturas de partes y la incomodidad que esto pueda generar.
- El operario tiene posibilidad de manipular el resultado.
- Hay equipos de muestreo que por tamaño no pueden adaptarse a tomar una muestra tipo personal.

¿Cuál es el tiempo de muestreo a emplear?

Los tipos de muestreo en relación al período se pueden clasificar en:

- * Muestra única de período completo: la muestra se toma durante la totalidad de la jornada o tiempo definido en el límite admisible:
 - Media ponderada en el tiempo. Ocho horas
 - Límite de exposición para cortos períodos de tiempo. Quince minutos
 - Valores techo que nunca pueden superarse. Muestras instantáneas ó lo más cortas posibles
- * Muestras consecutivas de período completo: a lo largo de toda la jornada o tiempo definido en el límite admisible, se obtienen dos o más muestras de igual o distinta duración, sin solución de continuidad y sin superposiciones
- * Muestras consecutivas de período parcial: tomas de igual o distinta duración cubren parte del tiempo de exposición o el definido en el límite admisible.
- * Muestras puntuales: por imposición del sistema de muestreo el período de toma de muestras se reduce a minutos o segundos.



Representatividad de los resultados de las evaluaciones de contaminantes químicos

Según la naturaleza del contaminante que se estudia, los elementos ó dispositivos utilizados para la toma de muestra pueden tener distinto grado de complejidad. No obstante, los datos resultantes siempre contienen errores.

Para evaluar de forma crítica los resultados obtenidos y sacar deducciones sobre los mismos, es necesario evaluar el error del resultado de las mediciones.

Esta tarea no es sencilla, la mayor complejidad radica en que la medición va acompañada de factores que influyen en mayor o menor medida sobre el resultado de la misma.

Para facilitar el análisis del error del resultado, los errores de las mediciones se los clasifican de acuerdo a los motivos que los provocan. Se distinguen dos categorías: los sistemáticos y los causales o accidentales.

⇒ Fuentes de errores sistemáticos:

- defecto en los equipos /instrumentos de medición,
- falta de calibración de los equipos/ instrumentos de medición,
- empleo de soluciones químicas vencidas o mal valoradas
- cambios de condiciones de ventilación en el lugar donde se desarrollan las mediciones,
- errores personales ó subjetivos del higienista que toma la medición,

Los errores sistemáticos no pueden ser considerados estadísticamente. Pueden prevenirse/ corregirse mediante acciones que limiten su ocurrencia, por ejemplo: entrenamiento del personal, calibración de equipos, etc.

⇒ Fuentes de errores accidentales/ fortuitos

Están vinculados con factores que sufren pequeñas variaciones durante el muestreo y ó análisis.

La acción conjunta de un gran número de factores da lugar a que la repetición de una misma medición de en cada ocasión un valor distinto.

- Fluctuaciones de la concentración de un contaminante ambiental durante el día influenciadas por: el proceso generador ó por los hábitos laborales del trabajador; distribución del contaminante debido a las corrientes de aire erráticas dentro del local. Estas fluctuaciones no se deben a ningún cambio específico ó particular en las condiciones de toma de una a otra ; de ser se estaría en presencia de un error sistemático.
- Pequeñas variaciones en variables del equipo de muestreo ó análisis (caudal circulante, pesada de un filtro, etc)

Los errores del primer tipo son de gran influencia respecto a los del segundo tipo.

Los errores fortuitos no pueden prevenirse, pero pueden ser calculados.

Cuando llevamos a cabo el muestreo y análisis de contaminantes planificado debemos eliminar los errores sistemáticos, pero siempre habrá una discrepancia entre el valor verdadero de concentración y el dato obtenido debido a los errores fortuitos. Estos varían en magnitud y dirección en forma aleatoria, de muestra a muestra. Su presencia no significa que el método ha sido usado incorrectamente.

Muestra representativa

Si se toma una muestra de corta duración el resultado es representativo del volumen y período muestreado, que son pequeños. Esto implica que la porción de la tarea muestreada es también pequeña con relación a las ocho horas de exposición. Pero si buscamos en ese momento un pico de exposición para compararlo con valores límites de concentraciones admisibles para corto período, esta muestra será óptima para representarlo.

Si en cambio tomamos una muestra de período total de la jornada, obtenemos un excelente promedio de la concentración a la que estuvo expuesto el trabajador pero no nos informa de las variaciones ocurridas durante la jornada.

Por esto es necesario definir la representatividad en relación con los límites de exposición fijados por la legislación vigente.

El uso de la estadística en este proceso es fundamental dado que cualquier promedio de exposición, calculado desde mediciones, es sólo una estimación del valor verdadero ó estimación de la exposición promedio; obteniéndose por cálculos intervalos a ambos lados del promedio que aseguren con un nivel de confianza pretendido (generalmente 95%) encontrar dentro ese margen el valor real de la exposición.

El límite numéricamente mayor se denomina Límite Superior de Confianza y el numéricamente menor Límite Inferior de Confianza.

Distribuciones estadísticas asociadas

A) Para la/ s:

- = Muestra única de período completo
- = Muestras consecutivas de período completo
- = Muestra única de período parcial
- = Muestras consecutivas de período parcial

Relacionadas a la búsqueda de la concentración máxima permisible ponderada en el tiempo (CMP), concentración máxima permisible para cortos períodos de tiempo (CMP-CPT), concentración máxima permisible valor techo (CMP-C):

“se asume que los resultados adoptan una distribución normal”

La distribución normal se caracteriza por un valor medio (X) y la desviación estándar típica (σ). El valor medio coincide con la media aritmética y la desviación típica estima la dispersión de los valores medidos en torno al medio.

B) Para el:

- = Muestreo instantáneo en serie relacionado a la búsqueda de la concentración máxima permisible ponderada en el tiempo (CMP).

“Se asume que los resultados adoptan una distribución logaritmo normal”, relacionada con muestras de corta duración tomadas al azar cuyo objetivo final es la comparación con límites admisibles que cubren lapsos no muestreados. Razones halladas en la práctica refuerzan la idea de optar por una representación de este tipo.

En este caso se deja de lado los errores aleatorios aparecidos en el muestreo y análisis utilizado, dado que se estiman insignificantes cuando se los compara con el error relacionado con la variabilidad ambiental de la concentración del contaminante, ya que parte del período no ha sido cubierto por la muestra, que afecta el resultado final de la determinación.

Este método no puede ser aplicado si el proceso tiene una “tendencia” temporal característica prefijada.

Por ejemplo: finalizado un proceso químico en un reactor tipo discontinuo, para descargar el producto se abre la tapa escapando al ambiente vapores de potencial riesgo. En este caso el contaminante está presente ante una operación dada, su emisión es llevada a cabo ante la apertura del reactor, se dice que el proceso posee una “tendencia” a la emisión del contaminante en lo temporal. Como el método propuesto toma muestras instantáneas en períodos seleccionados al azar podría saltar el momento de apertura del reactor, con el consecuente error de cuantificación de la exposición.

Parámetros de importancia a tener en cuenta en los métodos de cuantificación de contaminantes.

Parámetros que definen el comportamiento de un método de determinación

- Sensibilidad/umbral de detección: es la mínima cantidad de contaminante que puede ser reconocida por un método analítico dado, con una exactitud aceptable.

En contaminación del aire la sensibilidad se expresa en unidades de concentración.

La ACGIH establece que la sensibilidad de un método de muestreo y análisis debe ser tal que permita detectar el 10 % de la CMP.

Este parámetro es importante porque los tiempos de muestreo no deben ser menores a los que permitan recoger una cantidad de muestra mínima que pueda ser valorada analíticamente, ni mayores a los impliquen sobresaturar el elemento de captación ó requieran diluciones en la etapa de determinación analítica.

- Precisión: es la reproductividad del método ante una muestra homogénea, bajo condiciones controladas. Se expresa con la desviación normal. No tiene en cuenta si los valores observados guardan relación con el valor real. La precisión se expresa con la desviación normal ó el CV.

-Exactitud: es la diferencia entre la concentración medida y la verdadera de la muestra. Se expresa con el error relativo.

En forma práctica si la concentración verdadera de un ambiente laboral es $5,00 \text{ mg/m}^3$, y haciendo muestras el método nos arroja valores tales como: $3,00 - 3,10 - 2,90 - 3,05 \text{ mg/m}^3$; podemos afirmar que el método es preciso (hay muy poca diferencia entre los valores de las concentraciones halladas) pero no es exacto (hay una gran diferencia entre el valor real y el medido).

Las Normas de muestreo y análisis de contaminantes de la NIOSH (más adelante las veremos con más detalle) requieren que los métodos posean una exactitud en un rango determinado. El método debe ser capaz de dar una exactitud dentro de $\pm 25\%$ del valor verdadero, en un rango de concentraciones específicas (0,1 a 2 veces el valor de la concentración admisible), con un 95 % de confianza.

La exactitud incluye los errores al azar y los sistemáticos de los métodos de muestreo y análisis de contaminantes.

Los métodos de muestreo y análisis de la NIOSH son estudiados y calificados para este fin. Los ensayos abarcan:

a. para su desarrollo los estudios comprenden:

1) la capacidad de retención de los elementos utilizados en la captación de la muestra, 2) la recuperación del analito desde el elemento utilizado para retener el contaminante y 3) la estabilidad del analito sobre el medio de colección, y

b. para su evaluación, con el fin de asegurar datos confiables con determinada precisión y exactitud., los estudios comprenden:

1) la generación de atmósferas de contaminantes conocidas, cuyo valor real se asume como la obtenida por otro método de referencia independiente al evaluado,

2) la evaluación de la atmósfera generada con la técnica estudiada, valorando tandas de muestras entre 0,1 y dos veces el valor del límite admisible, y

3) estudio estadístico de estos resultados para obtener la precisión del método de muestreo (CV_M), la de análisis (CV_A); y la exactitud global de la técnica.

El método es aprobado si cumple con los objetivos propuestos.

Si tomando las medidas pertinentes y controlamos las fuentes sistemáticas de error, asumiendo que los errores aleatorios están normalmente distribuidos, el coeficiente de variación CV puede utilizarse para conocer si un método tiene la exactitud requerida.

Método Estadístico

Las Normas IRAM 80020, 80021 y 80022 presentan los esquemas de cálculo para los distintos casos aplicando la distribución estadística normal y log-normal, según corresponda.

Presentamos cada caso en forma esquemática y remitimos a sus lecturas.

Muestras de período completo ó parcial - 80021 y 80022, respectivamente.

Bases

= Los errores fortuitos están distribuidos normalmente.

= Los errores sistemáticos están controlados.

= Los errores debidos a la fluctuación de la concentración del contaminante durante la jornada se eliminan al desarrollar la muestra todo el período para el que está definida la concentración admisible.

= Las muestras de período parcial deben abarcar un período mínimo del 70% del período total, y además se supone que la concentración del contaminante en el período no muestreado es igual a la del período cubierto.

CV= coeficiente de variación total = Desviación relativa Standard total (S_{rT})

En el esquema definido por IRAM

(Recordemos que para IRAM a la concentración máxima permisible ponderada en el tiempo (CMP) la denomina concentración admisible promedio (CAP))

1) Muestreo de período completo

- C = concentración medida durante todo el período.
- σ_c = desviación normal para el método de muestreo y análisis = $CV \times CAP$
- Con un 95% de confianza, para decidir :

= LSC: límite superior de confianza = LIC: límite inferior de confianza

$$LSC = C + 1,645 \times \sigma_c \quad LIC = C - 1,645 \times \sigma_c$$

Si $CAP \geq LSC \Rightarrow$ cumplimiento Si $CAP < LIC \Rightarrow$ incumplimiento
 Si $LSC > CAP \geq C \Rightarrow$ indeterminación Si $LIC \leq CAP < C \Rightarrow$ indeterminación

Este procedimiento es aplicable para comparar los valores obtenidos con los admisibles definidos en la Resolución N° 295/2003, donde el período completo abarque todo el tiempo para el cual está definida la concentración de exposición

= CMP para ocho horas

= CMP-CPT (15 min). En este caso se aconseja muestrear en las tareas ó en los periodos de tiempo donde se estima existe una mayor concentración de contaminante presente.

= C (techo). En este caso se aconseja muestrear en las tareas ó en los periodos de tiempo donde se estima existe una mayor concentración de contaminante presente. Si no se pueden establecer lapsos de mayor concentración potencial se recomienda la realización de 11 muestras por jornada de 15 minutos de duración cada una en periodos elegidos al azar.

2) Muestreo de período completo – muestras consecutivas –

• C_{media} = concentración ponderada para todo el período t. $\Rightarrow C_{media} = 1/t \times \sum t_i \times c_i$

Donde $t = \sum t_i$; c_i = concentraciones de cada muestra consecutivas durante cada t_i

• $\sigma_{consecutivas} = \sigma_c / t \times (\sum t_i^2)^{1/2}$

• Con un 95% de confianza, para decidir :

= LSC: límite superior de confianza = LIC: límite inferior de confianza

$LSC = C_{media} + 1,645 \times \sigma_{consecutivas}$

$LIC = C_{media} - 1,645 \times \sigma_{consecutivas}$

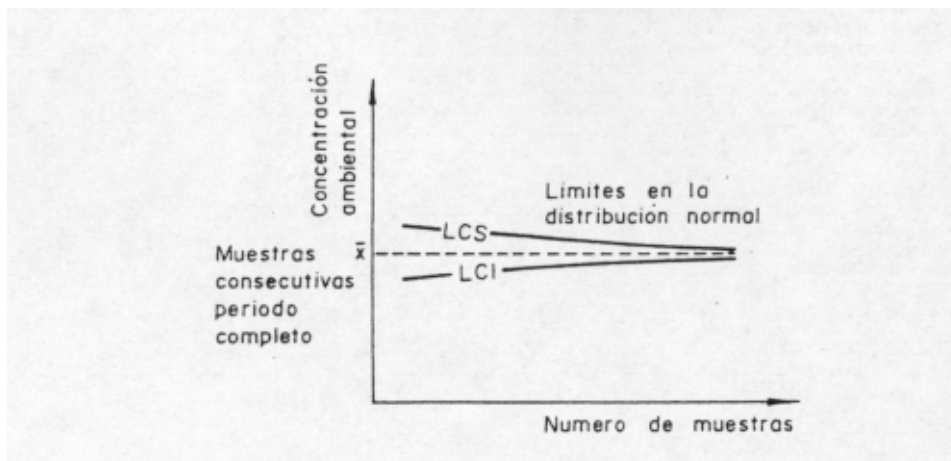
Si $LSC \leq CAP \Rightarrow$ cumplimiento

Si $LIC > CAP \Rightarrow$ incumplimiento

Si $LSC > CAP \geq C \Rightarrow$ indeterminación

Si $LIC \leq CAP < C_{media} \Rightarrow$ indeterminación

Este método es el mejor, ya que obtenemos límites de confianza más estrechos en la estimación de la exposición a medida que aumentamos el número de muestras. Con este hecho aumenta el poder de decisión y también los costos.



Se concluye que para demostrar incumplimiento la cantidad óptima consecutiva de muestras es entre 4 a 7.

Con menos de cuatro muestras el poder de decisión baja. Con más de siete no aumenta considerablemente.

Este método tiene otras ventajas, ya que permite detectar errores en alguna de las muestras por comparación con las restantes que no se puede detectar con muestra única, y es aplicable para comparar los valores obtenidos con los admisibles definidos en la Resolución N° 295/2003 donde los períodos de muestreo abarquen todo el tiempo para el cual está definida la concentración de exposición.

3) Muestreo de período parcial

Se define FP = factor de período parcial = 480 min / minutos totales muestreados

a) Muestreo de período parcial de una sola muestra

$$\sigma_{\text{periodo parcial}} = \sigma_c \times \text{FP}$$

b) Muestreo de periodo parcial de varias muestras

$$\sigma_{\text{periodo parcial}} = \sigma_{\text{consecutivas}} \times \text{FP}$$

El resto del cálculo es similar a lo desarrollado en 1) ó 2)

En estos casos el FP amplía los intervalos de confianza

De lo expuesto se destaca que para un mismo método de muestreo (CV constante).

El muestreo de periodo completo – muestras consecutivas – posee como ventajas:

= $\sigma_{\text{consecutivas}} < \sigma_c < \sigma_{\text{periodo parcial}}$, achicando de esta forma los límites de confianza y por ende la certidumbre de poder calificar una exposición, y

= Posee la ventaja de poder reconocer errores en los muestreos y/o conocer concentraciones en periodos parciales de la jornada que pueden llegar a ser de interés.

Muestreo instantáneo en serie con periodos elegidos al azar – IRAM 80020

Bases

= Los errores debido a las fluctuaciones ambientales de la concentración de contaminantes son de gran peso respecto a los CV.

Este método no es aplicable:

- si la concentración de los contaminantes revelan una tendencia, ó
- en el caso de operaciones o tareas que representen exposiciones especiales durante periodos parciales de la jornada.

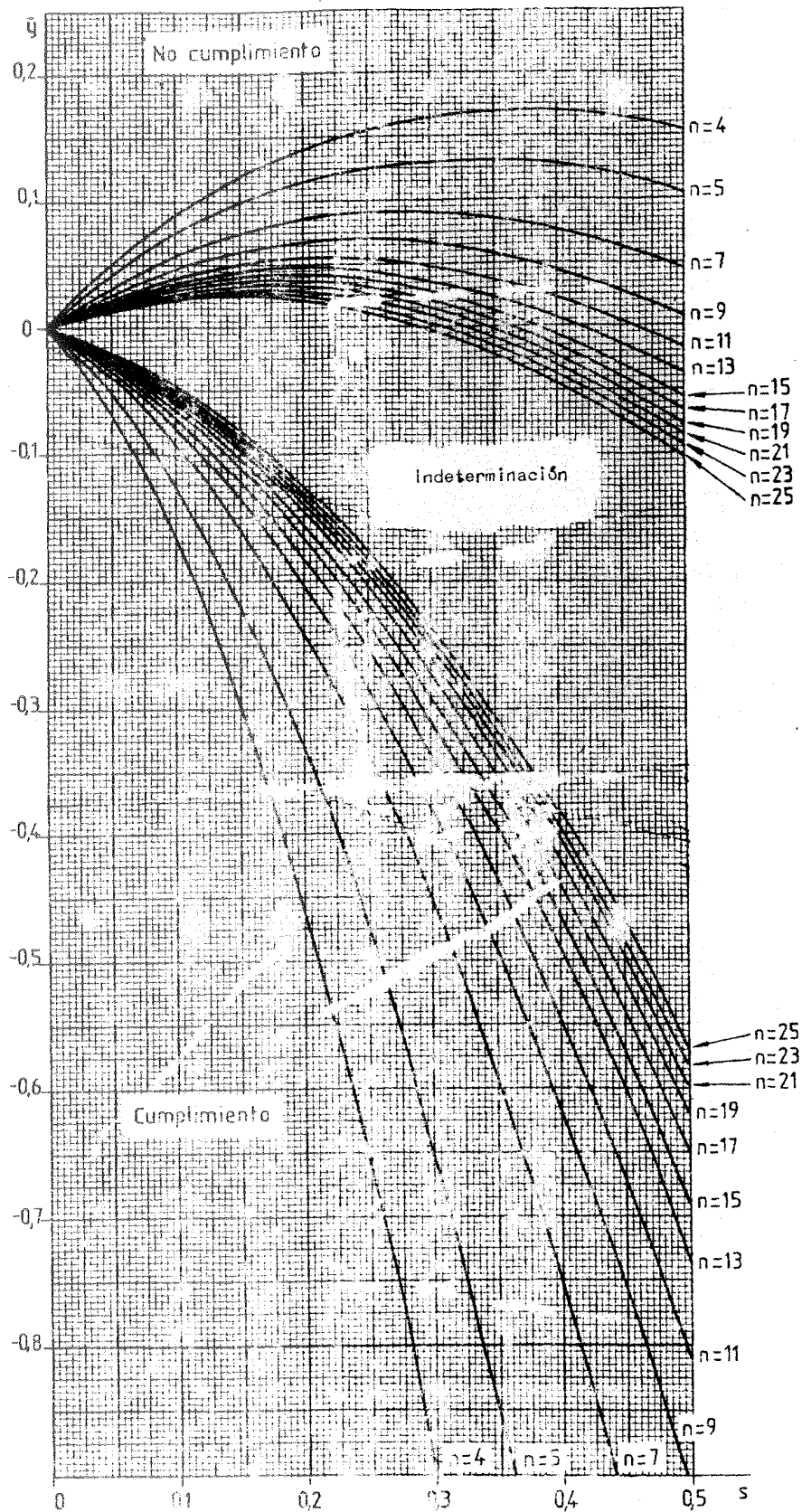
= Los errores sistemáticos están controlados.

= Los resultados de las muestras aisladas tomadas al azar para definir cumplimiento ó incumplimiento que cubren lapsos no muestreados siguen una distribución log-normal.

Método

- 1) Dividir la jornada en intervalos iguales de duración acorde respecto la sensibilidad del método empleado.
- 2) Numerar los intervalos (1,2,...,n) y utilizando un procedimiento de selección al azar ordenarlos en función de la prioridad obtenida.
- 3) Si queremos definir incumplimiento tomar entre 4 y 7 muestras, si queremos definir cumplimiento entre 8 y 11; en orden a la prioridad de periodos de la jornada de acuerdo a lo obtenido en 2).
 Mayor número de muestras no aumenta significativamente el poder de decisión.
- 4) Se calculan:
 - a) La concentración relativa de cada muestra $X_i = C_i / \text{CAP}$
 - b) El logaritmo decimal de cada concentración relativa, $y_i = \log X_i$
 - c) Dos variables de decisión,
 - * y_p = promedio aritmético de los logaritmos calculados en b)
 - * S = estimación de la desviación normal de los logaritmos de las concentraciones calculados en b). $S = [\sum (y_i)^2 - n (y_p)^2 / n - 1]^{1/2}$
 donde n = número de muestreos realizados.
- 5) Utilizando las variables de decisión y_p y S y el número de muestras tomadas, con el gráfico de Regiones de Decisión (Fig 2 de la Norma IRAM) se decide cumplimiento ó incumplimiento.

Analizando las curvas y las zonas del gráfico se saca como conclusión que para demostrar cumplimiento se deben tomar entre 8 a 11 muestras, para incumplimiento de 4 a 7 alcanzan. En ambos casos más muestras no aumentan significativamente el poder de decisión.



Regiones de determinación

Figura 2

Consideración final:

Uno de los objetivos más importantes de la Higiene Industrial es interpretar en toda su extensión el resultado de las determinaciones ambientales, que por lo que hemos visto no se puede conocer en toda su exactitud sino con una cierta probabilidad dentro de un intervalo de valores.

A todo esto se suma otra incertidumbre: la exactitud del propio valor admisible tomado como referencia, el conocimiento de la curva dosis respuesta sigue en avance y surgen discrepancias entre las distintas recomendaciones sumadas a la revisión periódica que cada organismo realiza a sus criterios de evaluación.

Para neutralizar estas diferencias y anteponiendo el carácter preventivo de la Higiene Industrial, NIOSH define el “nivel de acción”: cuando la concentración ambiental alcanza el 50% del valor límite admisible se deben adoptar medidas preventivas.

La utilización del concepto de acción evita gastar recursos innecesarios. Cabe recordar que la estrategia de muestreo persigue la reducción progresiva del tamaño del grupo objeto de control. El hecho de encontrar exposiciones mayores al nivel de acción obliga nuevos muestreos en un plazo máximo de dos meses, hasta que se encuentren dos determinaciones consecutivas inferiores a ese nivel.

Si esta serie de muestreos arroja como resultado que se supera el límite admisible del contaminante:

- 1) Se informa de esta situación a los trabajadores,
- 2) se implantan controles,
- 3) se establecen reconocimientos médicos específicos, y
- 4) se vigila la exposición como mínimo cada mes.

Si estamos por debajo del nivel de acción, se suelen repetir los estudios de evaluación de contaminantes una vez al año ó cuando el proceso o las condiciones laborales sufren algún cambio

Cabe hacer notar que toda determinación de contaminantes debe estar acompañada por un informe técnico de la jerarquía necesaria para que sirva como un instrumento probatorio de la condición laboral evaluada.

Se aconseja que el informe final contenga como mínimo la siguiente información:

- + Fecha y hora de los muestreos.
- + Mención de la tarea relevada y ubicación de la muestra
- + Condiciones operativas y de funcionamiento de los sistemas de control de la contaminación.
- + Sustancias químicas evaluadas.
- + Tipo y método de muestreo empleado.
- + Equipo utilizado para la toma de muestras.
- + Tiempo y caudal de muestreo. Temperatura y presión ambiente.
- + Dispositivos y métodos utilizados en la calibración.
- + Método analítico empleado en la evaluación del contaminante.
- + Nombre y firmas de los responsables de los trabajos realizados
- + Resultados.
- + Nombre y legajo del empleado evaluado.
- + Copia de los informes enviados desde el laboratorio.
- + De corresponder: cadena de custodia de la muestra.
- + Todo otro dato particular necesario dado el procedimiento empleado y las condiciones del ambiente evaluado.