



Documentación

NTP 555: Agentes químicos: estrategias de muestreo y valoración (III)

Agents Chimiques. Estrategies pour l'échantillonnage et l'évaluation (III)
Chemical Acents. Sampling and assessing strategies (III)

Redactores:

Pablo Luna Mendaza
Ldo en Ciencias Químicas

Félix Bernal Domínguez
Ingeniero Químico (IOS). Ingenieur IGC

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Este documento, tercero del conjunto de tres NTP, se refiere al planteamiento y tratamiento de los datos del muestreo en exposiciones intensas de corta duración, por comparación con el VLA-EC o factores de excursión.

La bibliografía se incluye al final de esta Nota Técnica de Prevención

Introducción

Los Límites de Exposición Profesional publicados recientemente en nuestro país, incorporan, entre otros, los Valores Límite Ambientales de Corta Duración (VLA-EC), de aplicación en periodos de la jornada de exactamente 15 minutos y que se proponen como referencia única de limitación de concentraciones ambientales para algunos agentes químicos, y como complemento de los VLA-ED (exposición de 8 horas) para otros. En total se pueden hallar 405 agentes con VLA-ED asignado de los cuales 137 tienen también VLA-EC. Mientras que 33 tienen propuesto como límite únicamente el VLA-EC. A menudo se plantea la necesidad de valorar de alguna forma las exposiciones de corta duración, teniendo en cuenta además que aunque el agente no tenga asignado un valor límite de corta duración se limitan las exposiciones tres veces por encima del VLA-ED. Este documento trata de las exposiciones de corta duración y de mecanismos que pueden servir para juzgar el riesgo higiénico que suponen esas exposiciones.

Valoración por comparación con el valor límite ambiental de corta duración (VLA-EC)

Cuando el agente químico presente en un puesto de trabajo tiene asignado VLA-EC, la medición debe durar 15 minutos. Habitualmente se toman muestras de 15 minutos. El VLA-EC no se debe sobrepasar en ningún periodo de 15 minutos, dentro de una jornada laboral. El planteamiento de las mediciones es pues comprobar si se cumple este requisito muestreando el periodo de exposición de 15 minutos que se supone de máxima exposición. Vale la pena recordar que al estar el tiempo de muestreo limitado por el criterio, el límite de detección analítico de la sustancia en cuestión debe ser tanto menor cuanto más pequeño sea el VLA-EC.

En una jornada laboral de 8 horas existen 32 periodos de 15 minutos consecutivos contando desde el inicio al final de la jornada, si además se tienen en cuenta los periodos solapados, el número es muy elevado. Por este motivo, la probabilidad de que, eligiendo aleatoriamente un cierto número de periodos, se muestree el de mayor concentración o alguno de los de mayor concentración, es muy baja (ver tabla 1). Esto justifica que en la práctica (si es posible) se seleccionen a priori los periodos de la jornada en los que las condiciones del proceso hagan presuponer una mayor generación de agente químico. Para ello es preciso estudiar las tareas del puesto y el proceso de trabajo.

TABLA 1
Muestreo de periodos de 15 minutos

| Tiempo de exposición (horas) | Nº de periodos consecutivos totales | PROBABILIDAD DE QUE ESTÉ INCLUIDO EN EL MUESTREANDO | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------------------|---|------|------|--|------|------|---|------|------|
| | | El periodo de máxima exposición | | | 1 de los 2 periodos de máxima exposición | | | 1 de los 3 de periodos de máxima exposición | | |
| | | * | ** | *** | * | ** | *** | * | ** | *** |
| 8 | 32 | 3,1 | 6,3 | 9,4 | 6,3 | 12,3 | 18,1 | 9,4 | 18,1 | 26,3 |
| 7 | 28 | 3,6 | 7,1 | 10,7 | 7,1 | 14,0 | 20,6 | 10,7 | 20,6 | 29,8 |
| 6 | 24 | 4,2 | 8,3 | 12,5 | 8,3 | 16,3 | 23,9 | 12,5 | 23,9 | 34,3 |
| 5 | 20 | 5,0 | 10,0 | 15,0 | 10,0 | 19,5 | 28,4 | 15,0 | 28,4 | 40,4 |
| 4 | 16 | 6,3 | 12,5 | 18,8 | 12,5 | 24,2 | 35,0 | 18,8 | 35,0 | 48,9 |
| 3 | 12 | 8,3 | 16,7 | 25,0 | 16,7 | 31,8 | 45,5 | 25,0 | 45,5 | 61,8 |
| 2 | 8 | 12,5 | 25,0 | 37,5 | 25,0 | 46,4 | 64,3 | 37,5 | 64,3 | 82,1 |
| 1 | 4 | 25,0 | 50,0 | 75,0 | 50,0 | 83,3 | 75,0 | 75,0 | 100 | 100 |
| 0,5 | 2 | 50,0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

* un periodo al azar / ** 2 periodos al azar / *** 3 periodos al azar

De todas formas, como la seguridad de que se ha muestreado el "peor" periodo de 15 minutos no es total, se recurre a la estadística y se maneja el concepto de probabilidad.

Se parte de la suposición (habitualmente admitida) de que (a igualdad de condiciones de trabajo) los valores de concentración ambiental se distribuyen según una distribución lognormal, es decir que los logaritmos de esos valores se distribuyen normalmente. Si se dispone de algunos valores de concentraciones correspondientes a periodos de 15 minutos, se puede predecir la probabilidad de que un periodo no muestreado supere un determinado valor (VLA-EC) y también la probabilidad global de que eso suceda en la totalidad de periodos de 15 minutos que no han sido muestreados. A continuación se trata de establecer un criterio de decisión (riesgo aceptable, inaceptable o incierto) a partir de un cierto valor de probabilidad.

El National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) en la publicación de Leidel y otros autores sobre estrategia de muestreo (ver referencias bibliográficas) propone el siguiente criterio de valoración, a partir del valor de la probabilidad global (p') de no superar el VLA-EC:

1. Si $p' > 0,9$ (ó 90%) se considera que no se supera el nivel de referencia (riesgo aceptable)
2. Si $p' < 0,1$ (ó 10%) se considera que se supera el valor de referencia (riesgo inaceptable) se debe corregir la exposición.
3. Si $0,9 \geq p' \geq 0,1$ se concluye que es posible que se supere el valor de referencia (riesgo incierto) y se deben muestrear más periodos o corregir la exposición.

La estimación del valor de p' puede llevarse a cabo de forma analítica o gráfica. Los datos de partida son concentraciones ambientales obtenidas de algunos periodos de 15 minutos de duración entre los que se consideren de máxima generación y presencia de agente químico en el ambiente. Si se aprecia que son numerosos los periodos en los que puede darse alta exposición, se seleccionan algunos al azar (tabla 3, de números aleatorios) El planteamiento del muestreo y la valoración de los resultados puede seguir la siguiente sistemática:

1. Estudiar el nº de periodos (k) de 15 minutos en los que se dan las condiciones para que la concentración ambiental sea más alta que en el resto de la jornada.
2. Muestrear algunos de ellos (i) de forma aleatoria (tabla 3), obteniendo i resultados correspondientes a sendas concentraciones (C_{15}) provenientes de muestreos de 15 minutos de duración. Si algún resultado es mayor que el VLA-EC se concluye que se supera el VLA-EC, si no es así, continuar según 3.
3. Obtener i índices de exposición (I) dividiendo cada C_{15} por el VLA-EC correspondiente al agente químico en cuestión.
4. Calcular el logaritmo (decimal o natural) de cada índice I.
5. Hallar la media aritmética de los logaritmos de los índices. (L)
6. Hallar la desviación estándar de la distribución normal de los logaritmos de los índices

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L - L_i)^2}{n - 1}}$$

7. Calcular el estadístico $Z = L/\sigma$
8. Buscar en la tabla 2 el valor de la probabilidad (p), correspondiente a Z. El valor de p es la probabilidad de que se supere el valor límite en uno de los periodos no muestreados.
9. Calcular la probabilidad global (p') de **no** superar el valor límite en todos los periodos no muestreados, haciendo $p' = (1-p)^{k-i}$.

TABLA 2
Distribución normal estándar

| Z | p | Z | p | Z | p | Z | p | Z | p | Z |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -3,49 | 0,0002 | -2,99 | 0,0014 | -2,49 | 0,0064 | -1,99 | 0,0233 | -1,49 | 0,0681 | -0,99 |
| -3,48 | 0,0003 | -2,98 | 0,0014 | -2,48 | 0,0066 | -1,98 | 0,0239 | -1,48 | 0,0694 | -0,98 |
| -3,47 | 0,0003 | -2,97 | 0,0015 | -2,47 | 0,0068 | -1,97 | 0,0244 | -1,47 | 0,0708 | -0,97 |
| -3,46 | 0,0003 | -2,96 | 0,0015 | -2,46 | 0,0069 | -1,96 | 0,0250 | -1,46 | 0,0721 | -0,96 |
| -3,45 | 0,0003 | -2,95 | 0,0016 | -2,45 | 0,0071 | -1,95 | 0,0256 | -1,45 | 0,0735 | -0,95 |
| -3,44 | 0,0003 | -2,94 | 0,0016 | -2,44 | 0,0073 | -1,94 | 0,0262 | -1,44 | 0,0749 | -0,94 |
| -3,43 | 0,0003 | -2,93 | 0,0017 | -2,43 | 0,0075 | -1,93 | 0,0268 | -1,43 | 0,0764 | -0,93 |

| | | | | | | | | | | |
|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
| -3,42 | 0,0003 | -2,92 | 0,0018 | -2,42 | 0,0078 | -1,92 | 0,0274 | -1,42 | 0,0778 | -0,92 |
| -3,41 | 0,0003 | -2,91 | 0,0018 | -2,41 | 0,0080 | -1,91 | 0,0281 | -1,41 | 0,0793 | -0,91 |
| -3,4 | 0,0003 | -2,9 | 0,0019 | -2,4 | 0,0082 | -1,9 | 0,0287 | -1,4 | 0,0808 | -0,9 |
| -3,39 | 0,0003 | -2,89 | 0,0019 | -2,39 | 0,0084 | -1,89 | 0,0294 | -1,39 | 0,0823 | -0,89 |
| -3,38 | 0,0004 | -2,88 | 0,0020 | -2,38 | 0,0087 | -1,88 | 0,0301 | -1,38 | 0,0838 | -0,88 |
| -3,37 | 0,0004 | -2,87 | 0,0021 | -2,37 | 0,0089 | -1,87 | 0,0307 | -1,37 | 0,0853 | -0,87 |
| -3,36 | 0,0004 | -2,86 | 0,0021 | -2,36 | 0,0091 | -1,86 | 0,0314 | -1,36 | 0,0869 | -0,86 |
| -3,35 | 0,0004 | -2,85 | 0,0022 | -2,35 | 0,0094 | -1,85 | 0,0322 | -1,35 | 0,0885 | -0,85 |
| -3,34 | 0,0004 | -2,84 | 0,0023 | -2,34 | 0,0096 | -1,84 | 0,0329 | -1,34 | 0,0901 | -0,84 |
| -3,33 | 0,0004 | -2,83 | 0,0023 | -2,33 | 0,0099 | -1,83 | 0,0336 | -1,33 | 0,0918 | -0,83 |
| -3,32 | 0,0005 | -2,82 | 0,0024 | -2,32 | 0,0102 | -1,82 | 0,0344 | -1,32 | 0,0934 | -0,82 |
| -3,31 | 0,0005 | -2,81 | 0,0025 | -2,31 | 0,0104 | -1,81 | 0,0351 | -1,31 | 0,0951 | -0,81 |
| -3,3 | 0,0005 | -2,8 | 0,0026 | -2,3 | 0,0107 | -1,8 | 0,0359 | -1,3 | 0,0968 | -0,8 |
| -3,29 | 0,0005 | -2,79 | 0,0026 | -2,29 | 0,0110 | -1,79 | 0,0367 | -1,29 | 0,0985 | -0,79 |
| -3,28 | 0,0005 | -2,78 | 0,0027 | -2,28 | 0,0113 | -1,78 | 0,0375 | -1,28 | 0,1003 | -0,78 |
| -3,27 | 0,0005 | -2,77 | 0,0028 | -2,27 | 0,0116 | -1,77 | 0,0384 | -1,27 | 0,1020 | -0,77 |
| -3,26 | 0,0006 | -2,76 | 0,0029 | -2,26 | 0,0119 | -1,76 | 0,0392 | -1,26 | 0,1038 | -0,76 |
| -3,25 | 0,0006 | -2,75 | 0,0030 | -2,25 | 0,0122 | -1,75 | 0,0401 | -1,25 | 0,1056 | -0,75 |
| -3,24 | 0,0006 | -2,74 | 0,0031 | -2,24 | 0,0125 | -1,74 | 0,0409 | -1,24 | 0,1075 | -0,74 |
| -3,23 | 0,0006 | -2,73 | 0,0032 | -2,23 | 0,0129 | -1,73 | 0,0418 | -1,23 | 0,1093 | -0,73 |
| -3,22 | 0,0006 | -2,72 | 0,0033 | -2,22 | 0,0132 | -1,72 | 0,0427 | -1,22 | 0,1112 | -0,72 |
| -3,21 | 0,0007 | -2,71 | 0,0034 | -2,21 | 0,0136 | -1,71 | 0,0436 | -1,21 | 0,1131 | -0,71 |
| -3,2 | 0,0007 | -2,7 | 0,0035 | -2,2 | 0,0139 | -1,7 | 0,0446 | -1,2 | 0,1151 | -0,7 |
| -3,19 | 0,0007 | -2,69 | 0,0036 | -2,19 | 0,0143 | -1,69 | 0,0455 | -1,19 | 0,1170 | -0,69 |
| -3,18 | 0,0007 | -2,68 | 0,0037 | -2,18 | 0,0146 | -1,68 | 0,0465 | -1,18 | 0,1190 | -0,68 |
| -3,17 | 0,0008 | -2,67 | 0,0038 | -2,17 | 0,0150 | -1,67 | 0,0475 | -1,17 | 0,1210 | -0,67 |
| -3,16 | 0,0008 | -2,66 | 0,0039 | -2,16 | 0,0154 | -1,66 | 0,0485 | -1,16 | 0,1230 | -0,66 |
| -3,15 | 0,0008 | -2,65 | 0,0040 | -2,15 | 0,0158 | -1,65 | 0,0495 | -1,15 | 0,1251 | -0,65 |
| -3,14 | 0,0008 | -2,64 | 0,0041 | -2,14 | 0,0162 | -1,64 | 0,0505 | -1,14 | 0,1271 | -0,64 |
| -3,13 | 0,0009 | -2,63 | 0,0043 | -2,13 | 0,0166 | -1,63 | 0,0516 | -1,13 | 0,1292 | -0,63 |
| -3,12 | 0,0009 | -2,62 | 0,0044 | -2,12 | 0,0170 | -1,62 | 0,0526 | -1,12 | 0,1314 | -0,62 |
| -3,11 | 0,0009 | -2,61 | 0,0045 | -2,11 | 0,0174 | -1,61 | 0,0537 | -1,11 | 0,1335 | -0,61 |
| -3,1 | 0,0010 | -2,6 | 0,0047 | -2,1 | 0,0179 | -1,6 | 0,0548 | -1,1 | 0,1357 | -0,6 |
| -3,09 | 0,0010 | -2,59 | 0,0048 | -2,09 | 0,0183 | -1,59 | 0,0559 | -1,09 | 0,1379 | -0,59 |
| -3,08 | 0,0010 | -2,58 | 0,0049 | -2,08 | 0,0188 | -1,58 | 0,0571 | -1,08 | 0,1401 | -0,58 |
| -3,07 | 0,0011 | -2,57 | 0,0051 | -2,07 | 0,0192 | -1,57 | 0,0582 | -1,07 | 0,1423 | -0,57 |
| -3,06 | 0,0011 | -2,56 | 0,0052 | -2,06 | 0,0197 | -1,56 | 0,0594 | -1,06 | 0,1446 | -0,56 |
| -3,05 | 0,0011 | -2,55 | 0,0054 | -2,05 | 0,0202 | -1,55 | 0,0606 | -1,05 | 0,1469 | -0,55 |
| -3,04 | 0,0012 | -2,54 | 0,0055 | -2,04 | 0,0207 | -1,54 | 0,0618 | -1,04 | 0,1492 | -0,54 |
| -3,03 | 0,0012 | -2,53 | 0,0057 | -2,03 | 0,0212 | -1,53 | 0,0630 | -1,03 | 0,1515 | -0,53 |
| -3,02 | 0,0013 | -2,52 | 0,0059 | -2,02 | 0,0217 | -1,52 | 0,0643 | -1,02 | 0,1539 | -0,52 |
| -3,01 | 0,0013 | -2,51 | 0,0060 | -2,01 | 0,0222 | -1,51 | 0,0655 | -1,01 | 0,1562 | -0,51 |
| -3 | 0,0013 | -2,5 | 0,0062 | -2 | 0,0228 | -1,5 | 0,0668 | -1 | 0,1587 | -0,5 |

$$Z = \frac{\bar{L}}{\sigma} ; p = \text{probabilidad acumulada}$$

$$\bar{L} = \frac{\sum L_i}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (L - L_i)^2}{n-1}} \quad L_i = \log I_i \quad I_i = \frac{C_{15}(i)}{VLA - EC}$$

TABLA 3.

Números aleatorios. En el ejemplo se desean muestrear 5 periodos de un total de 12, de la jornada (o 5 días de un total de 12) que previamente hemos numerado.

Comenzando al azar por el 73, se seleccionan los menores de 13 siguiendo verticalmente la columna y continuando por la siguiente. (2, 3, 7, 9 y 12)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| 22 | 35 | 00 | 34 | 63 | 67 | 5 | 19 | 7 | 3 | 83 | 92 | 81 | 66 | 75 | 71 | 6 | 76 | 77 | 44 | 2 |
| 13 | 29 | 17 | 67 | 15 | 81 | 15 | 7 | 51 | 15 | 63 | 76 | 98 | 97 | 70 | 92 | 71 | 71 | 81 | 2 | 4 |
| 94 | 34 | 39 | 70 | 37 | 35 | 20 | 32 | 67 | 70 | 1 | 66 | 13 | 39 | 66 | 92 | 98 | 42 | 20 | 72 | 9 |
| 43 | 73 | 59 | 97 | 87 | 71 | 91 | 0 | 55 | 18 | 87 | 41 | 90 | 76 | 2 | 29 | 25 | 15 | 43 | 68 | 4 |
| 74 | 1 | 50 | 6 | 73 | 60 | 95 | 33 | 77 | 3 | 33 | 84 | 83 | 80 | 6 | 47 | 55 | 71 | 19 | 80 | 1 |
| 1 | 27 | 6 | 74 | 32 | 9 | 5 | 40 | 92 | 29 | 16 | 6 | 92 | 98 | 14 | 62 | 55 | 33 | 5 | 84 | 1 |
| 37 | 16 | 48 | 66 | 12 | 94 | 61 | 60 | 78 | 25 | 99 | 20 | 12 | 95 | 78 | 61 | 10 | 92 | 67 | 36 | 7 |
| 53 | 44 | 23 | 45 | 25 | 96 | 65 | 43 | 27 | 36 | 57 | 44 | 85 | 94 | 32 | 70 | 69 | 63 | 82 | 57 | 9 |
| 2 | 15 | 38 | 47 | 24 | 65 | 14 | 35 | 67 | 39 | 87 | 12 | 76 | 12 | 74 | 89 | 7 | 9 | 23 | 84 | 4 |
| 18 | 81 | 53 | 47 | 3 | 37 | 36 | 29 | 43 | 8 | 44 | 17 | 28 | 14 | 41 | 25 | 46 | 88 | 60 | 16 | 8 |
| 58 | 22 | 24 | 16 | 79 | 79 | 31 | 77 | 31 | 72 | 17 | 37 | 16 | 22 | 32 | 57 | 4 | 20 | 36 | 28 | 7 |
| 3 | 69 | 54 | 72 | 25 | 68 | 62 | 86 | 87 | 80 | 57 | 62 | 69 | 73 | 76 | 96 | 65 | 63 | 50 | 22 | 9 |
| 65 | 68 | 68 | 77 | 96 | 90 | 5 | 48 | 3 | 46 | 88 | 29 | 1 | 16 | 3 | 41 | 77 | 71 | 57 | 95 | 3 |
| 45 | 27 | 2 | 60 | 38 | 38 | 79 | 88 | 37 | 7 | 43 | 24 | 68 | 87 | 26 | 12 | 53 | 55 | 88 | 62 | 1 |
| 3 | 46 | 38 | 44 | 99 | 85 | 67 | 64 | 64 | 34 | 83 | 40 | 13 | 18 | 0 | 63 | 24 | 70 | 75 | 4 | 1 |
| 84 | 32 | 73 | 12 | 80 | 28 | 48 | 62 | 43 | 33 | 41 | 57 | 45 | 13 | 47 | 79 | 84 | 89 | 96 | 18 | 6 |
| 23 | 45 | 16 | 27 | 92 | 1 | 87 | 48 | 76 | 57 | 34 | 89 | 82 | 90 | 30 | 84 | 26 | 42 | 96 | 92 | 1 |
| 37 | 61 | 16 | 54 | 7 | 84 | 73 | 8 | 76 | 41 | 24 | 11 | 37 | 84 | 82 | 9 | 98 | 22 | 91 | 4 | 5 |
| 69 | 52 | 99 | 18 | 40 | 8 | 14 | 13 | 82 | 3 | 76 | 50 | 55 | 77 | 22 | 46 | 4 | 40 | 11 | 0 | 8 |
| 60 | 82 | 90 | 00 | 37 | 83 | 69 | 38 | 74 | 60 | 21 | 9 | 85 | 22 | 47 | 60 | 66 | 0 | 70 | 85 | 3 |
| 85 | 91 | 82 | 60 | 80 | 19 | 6 | 78 | 69 | 53 | 98 | 35 | 88 | 83 | 25 | 96 | 74 | 64 | 90 | 39 | 1 |
| 78 | 16 | 51 | 4 | 83 | 13 | 17 | 49 | 7 | 25 | 15 | 23 | 31 | 11 | 25 | 8 | 63 | 54 | 86 | 78 | 8 |
| 59 | 43 | 36 | 97 | 39 | 96 | 60 | 3 | 56 | 14 | 94 | 90 | 40 | 72 | 75 | 50 | 45 | 67 | 93 | 62 | 4 |
| 49 | 52 | 11 | 83 | 82 | 72 | 44 | 24 | 30 | 90 | 82 | 87 | 99 | 66 | 70 | 50 | 42 | 31 | 66 | 69 | 5 |
| 23 | 89 | 20 | 42 | 27 | 54 | 22 | 94 | 46 | 41 | 93 | 14 | 14 | 32 | 50 | 82 | 56 | 9 | 26 | 14 | 7 |
| 10 | 78 | 80 | 87 | 28 | 15 | 52 | 2 | 46 | 66 | 89 | 00 | 20 | 40 | 83 | 56 | 4 | 67 | 15 | 1 | 2 |
| 21 | 95 | 44 | 42 | 84 | 43 | 24 | 75 | 10 | 85 | 16 | 30 | 37 | 32 | 28 | 2 | 65 | 75 | 90 | 28 | 6 |
| 38 | 43 | 79 | 84 | 83 | 14 | 36 | 44 | 19 | 59 | 77 | 64 | 51 | 44 | 84 | 47 | 85 | 79 | 35 | 93 | 8 |
| 97 | 26 | 43 | 55 | 29 | 56 | 5 | 60 | 33 | 63 | 89 | 55 | 95 | 22 | 44 | 31 | 7 | 47 | 68 | 55 | 9 |
| 68 | 27 | 57 | 8 | 87 | 35 | 5 | 22 | 9 | 50 | 77 | 38 | 1 | 37 | 78 | 4 | 49 | 67 | 34 | 42 | 1 |
| 0 | 58 | 99 | 17 | 2 | 84 | 33 | 87 | 92 | 32 | 82 | 27 | 71 | 36 | 31 | 1 | 90 | 24 | 79 | 86 | 1 |
| 29 | 24 | 89 | 25 | 68 | 70 | 51 | 21 | 35 | 17 | 68 | 80 | 33 | 38 | 65 | 65 | 50 | 50 | 45 | 59 | 4 |
| 92 | 6 | 23 | 38 | 67 | 32 | 70 | 2 | 22 | 55 | 42 | 24 | 12 | 14 | 98 | 94 | 72 | 52 | 52 | 96 | 9 |
| 69 | 58 | 19 | 59 | 77 | 61 | 26 | 3 | 40 | 41 | 2 | 53 | 90 | 86 | 40 | 70 | 57 | 38 | 17 | 96 | 9 |
| 74 | 7 | 89 | 3 | 62 | 18 | 16 | 54 | 68 | 6 | 68 | 70 | 87 | 30 | 91 | 25 | 28 | 42 | 4 | 79 | 2 |
| 69 | 58 | 5 | 4 | 36 | 13 | 53 | 51 | 66 | 67 | 37 | 5 | 97 | 24 | 24 | 99 | 90 | 35 | 40 | 67 | 8 |
| 80 | 7 | 85 | 80 | 80 | 20 | 86 | 68 | 27 | 3 | 39 | 3 | 21 | 34 | 1 | 81 | 45 | 8 | 5 | 53 | 3 |
| 62 | 88 | 77 | 34 | 51 | 78 | 80 | 82 | 93 | 21 | 45 | 47 | 84 | 17 | 50 | 14 | 98 | 46 | 36 | 12 | 2 |
| 65 | 19 | 40 | 20 | 46 | 65 | 67 | 70 | 50 | 9 | 46 | 82 | 53 | 18 | 26 | 51 | 44 | 62 | 50 | 37 | 6 |
| 10 | 78 | 19 | 13 | 92 | 67 | 35 | 74 | 22 | 5 | 63 | 28 | 28 | 94 | 33 | 52 | 24 | 42 | 86 | 48 | 2 |
| 93 | 27 | 94 | 56 | 44 | 77 | 80 | 25 | 17 | 31 | 9 | 27 | 68 | 48 | 6 | 68 | 97 | 63 | 41 | 42 | 4 |
| 53 | 11 | 79 | 68 | 46 | 19 | 10 | 57 | 71 | 64 | 28 | 49 | 67 | 32 | 30 | 81 | 32 | 75 | 95 | 4 | 3 |
| 8 | 35 | 66 | 23 | 86 | 59 | 28 | 2 | 90 | 3 | 17 | 34 | 10 | 16 | 33 | 81 | 1 | 34 | 92 | 91 | 9 |
| 23 | 11 | 55 | 23 | 54 | 44 | 73 | 50 | 97 | 61 | 35 | 91 | 73 | 49 | 14 | 29 | 48 | 94 | 78 | 93 | 8 |
| 31 | 6 | 90 | 22 | 95 | 70 | 68 | 83 | 96 | 78 | 17 | 78 | 32 | 62 | 57 | 58 | 17 | 81 | 99 | 60 | 1 |
| 28 | 72 | 10 | 35 | 51 | 64 | 60 | 94 | 88 | 15 | 12 | 78 | 15 | 8 | 28 | 78 | 33 | 92 | 36 | 59 | 2 |
| 75 | 38 | 77 | 44 | 63 | 90 | 43 | 29 | 26 | 56 | 15 | 77 | 96 | 59 | 47 | 31 | 52 | 45 | 59 | 36 | 7 |
| 5 | 85 | 7 | 13 | 87 | 64 | 55 | 98 | 91 | 76 | 8 | 34 | 88 | 58 | 34 | 35 | 82 | 8 | 5 | 60 | 4 |
| 73 | 53 | 75 | 58 | 83 | 14 | 59 | 12 | 25 | 49 | 36 | 62 | 6 | 92 | 97 | 63 | 97 | 91 | 84 | 82 | 4 |
| 39 | 48 | 58 | 57 | 75 | 23 | 10 | 49 | 28 | 72 | 58 | 84 | 15 | 68 | 00 | 66 | 19 | 87 | 10 | 50 | 3 |

Gráficamente se procede de la siguiente forma, una vez obtenidos los índices, es decir después del punto 3 del párrafo anterior, y empleando papel milimetrado en el que la escala de un eje sea logarítmica y el del otro de porcentaje de probabilidad acumulada de una distribución normal:

1. Situar en el gráfico tantos puntos como resultados de mediciones de 15 minutos se dispone, de forma en el eje logarítmico el valor sea el correspondiente al índice de exposición (I) y en el eje de probabilidad el resultado de la expresión $100 \cdot (n-0,5)/i$, donde n es el ordinal que le corresponda al valor del índice, ordenados de menor a mayor e i es el número de resultados.
2. Ajustar una recta a los puntos trazados.
3. La intersección de la recta con la horizontal correspondiente al valor $I=1$ en ordenadas, indica en abscisas el % de probabilidad (1-p) de que no se supere el VLA-EC en el siguiente muestreo. A partir de aquí se continúa como se indicó en el punto 9, hallando la probabilidad global $(1-p)^{k-i}$.

Ejemplo 1:

La esterilización de endoscopios en un hospital supone la exposición a glutaraldehído. La operación de principio (preparación del baño) a fin (extracción de endoscopios), dura aproximadamente 2,5 horas. De la observación del proceso se detectan 5 periodos de posible máxima exposición (que pueden durar 15 minutos) Se muestrean 3 de ellos durante 15 minutos cada uno, con los resultados siguientes en mg/m^3 0,1; 0,15; 0,08. Se desean obtener conclusiones sobre el riesgo que supone la exposición $\text{VLA-EC}=0,2 \text{ mg}/\text{m}^3$ Siguiendo los pasos señalados se obtienen los siguientes valores:

| I_i | $\text{Log}_{10} I_i$ | $(\Sigma \log I_i)/n$ | | $Z=(\Sigma \log I_i)/n \sigma$ |
|--------------|-----------------------|-----------------------|--------|--------------------------------|
| $I_1 = 0,5$ | -0,3010 | -0,2746 | 0,1384 | -1,98 |
| $I_2 = 0,75$ | -0,1249 | | | |
| $I_3 = 0,4$ | -0,3979 | | | |

De la tabla 2 se obtiene:

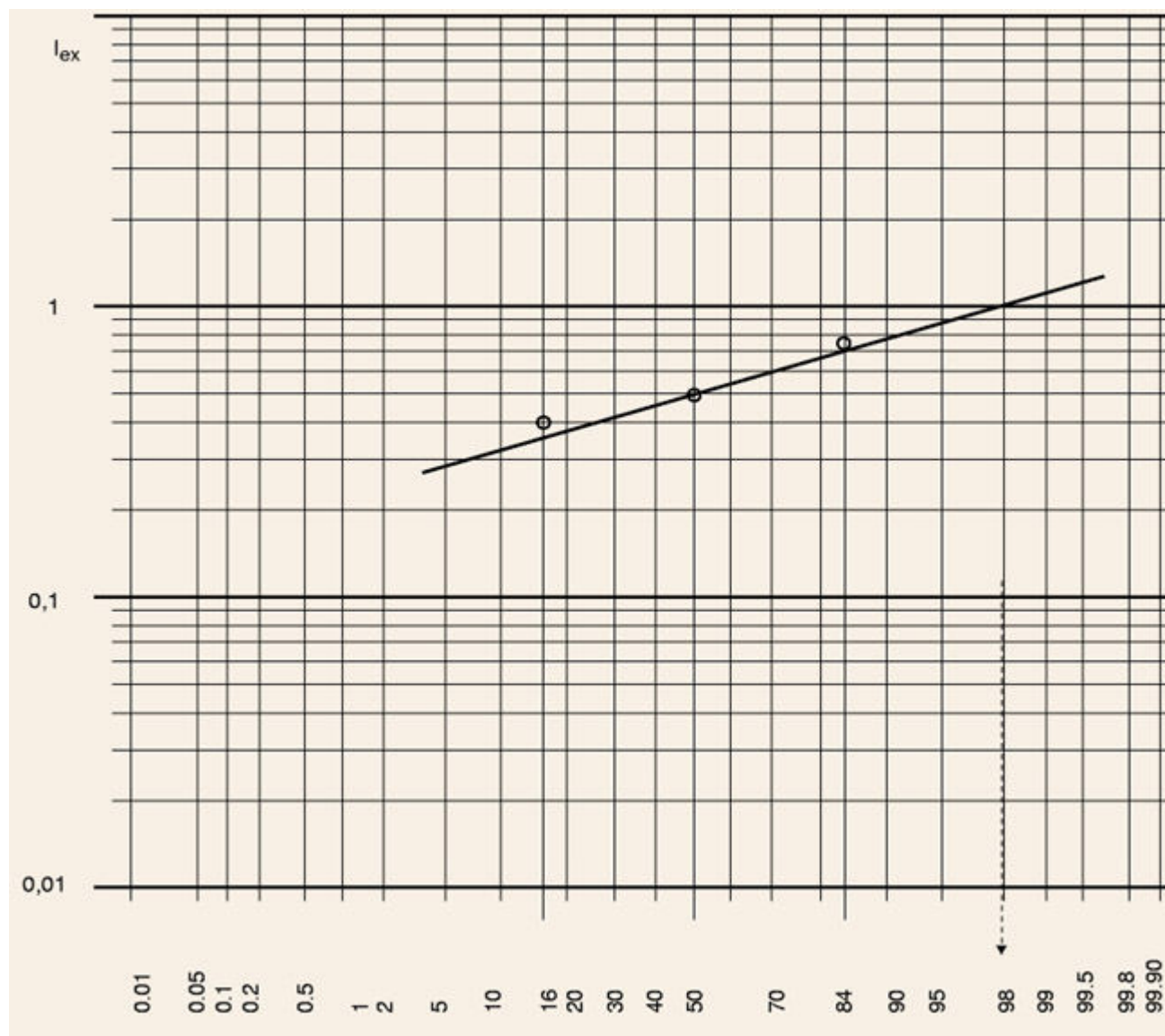
$p=0,0239$ es decir el 2,39% de probabilidad de que en un periodo de 15 minutos no muestreado se supere el valor límite. La probabilidad global de que no se supere el valor límite teniendo en cuenta todos los periodos no muestreados es

$$p'=(1-p)^{k-i}=0,9761^2=0,9528$$

Como $p'>0,90$ se concluye que no se supera el valor límite.

Gráficamente, según se puede ver en la figura 1 el resultado es $(1-p)=0,98$ (98%), por lo que $p'=(0,98)^2=0,96$

Figura 1 Probabilidad de que no se supere el VLA-EC en un período de 15 minutos no muestreado



Agentes químicos con valor límite ambiental de corta duración (VLA-EC) y de exposición diaria (VLA-ED) asignados. Valoración simultánea

Cuando el agente químico tiene asignado valor VLA-ED y además VLA-EC, se puede planificar el muestreo, de forma que los resultados aporten datos útiles para las dos comparaciones (con el VLA-ED y VLA-EC) simultáneamente.

Se toman muestras de 15 minutos, aleatoriamente (por ejemplo cinco) y se obtiene la media geométrica de ellos (MG) así como el valor más probable de la media utilizando el sistema propuesto en la NTP-347, (ver también la parte I de esta NTP). El ajuste necesario para obtener la media referida a 8 horas se puede hacer de la siguiente forma:

$$C_8 \approx \frac{C_{media} \cdot t_{ex}}{8}$$

donde t_{ex} es el tiempo diario de exposición en horas y C_{media} es el valor más probable de

la media obtenido a partir de los resultados de las muestras de 15 minutos de duración

La media geométrica se obtiene:

$$MG = \sqrt[n]{C_1 \cdot x \dots x C_n}$$

siendo $C_1 \dots C_n$ cada una de las concentraciones medias de los n periodos de 15 minutos muestreados.

Si la C_8 de esa jornada supera el VLA-ED o una de las muestras de 15 minutos supera el VLA-EC, la exposición debe corregirse sin más, en caso contrario se puede proceder como sigue:

Se estima la desviación estándar geométrica (GSD) de la distribución de las concentraciones

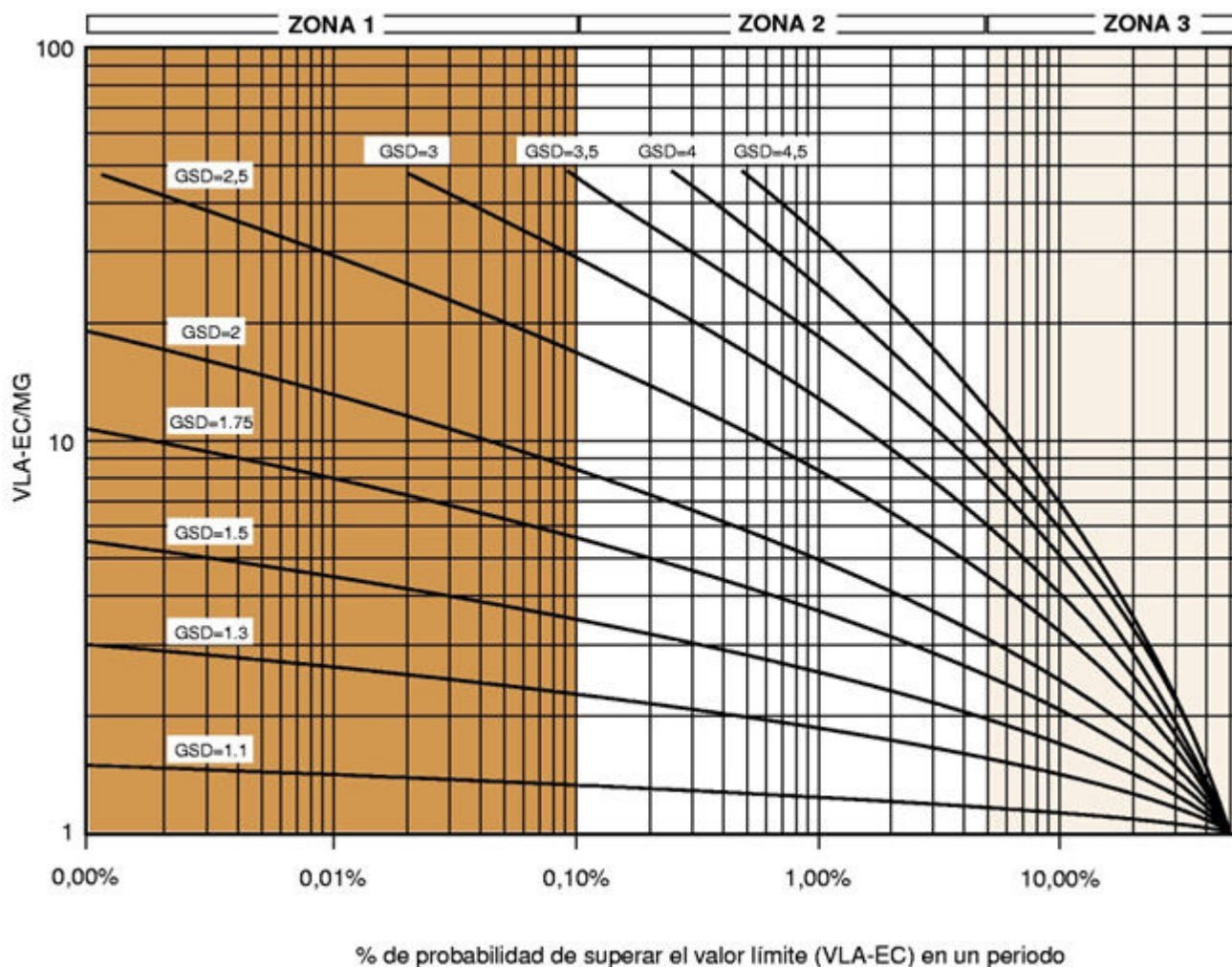
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_i (L - L_i)^2}{n-1}}$$

$$GSD = 10^\sigma$$

Donde σ es la desviación estándar de los logaritmos decimales (L_i) de las concentraciones y L es la media aritmética de ellos.

Con ayuda del gráfico de la figura 2 se sitúa el punto de la curva correspondiente a la GSD hallada cuyo valor en ordenadas es el que resulta de dividir el VLA-EC por la MG. Dicho punto quedará dentro de una tres posibles zonas (conclusiones). En la zona 1 la probabilidad de que se supere el VLA-EC en un periodo de 15 minutos es muy pequeña ($p=0,1$ %) y se aceptan las exposiciones de corta duración. En la zona 3 la probabilidad es mayor que el 5% y es conveniente controlar dichas exposiciones. La zona 2 implica incertidumbre. En este caso se puede repetir el proceso durante otra jornada o corregir la exposición.

Figura 2 Probabilidad de superar el VLA-EC



Ejemplo 2:

En el proceso de compactación y mezcla de fibra de vidrio con resina para la fabricación de barcas de fibra de poliéster se genera gran cantidad de vapor de estireno monómero al ambiente. El trabajo dura 7,5 horas. Aparentemente las condiciones de la exposición no varían de forma sistemática, por lo que se considera que entre periodos de 15 minutos diferentes, las variaciones que se produzcan son aleatorias. Con ayuda de la tabla 3 se eligen aleatoriamente 5 periodos de 15 minutos. Se toman muestras con tubos de carbón activo de 150 mg durante esos periodos. Los resultados obtenidos son: 13, 21, 9, 10 y 8 ppm.

El estireno monómero tiene asignados VLA-ED=20 ppm y VLA-EC= 40 ppm

| C (ppm) | Log ₁₀ C | σ_{n-1} | ($\Sigma \text{Log}_{10} C$)/5 | MG | GSD |
|---------|---------------------|----------------|----------------------------------|-------|------|
| 13 | 1,1139 | | | | |
| 21 | 1,3222 | | | | |
| 9 | 0,9542 | 0,1666 | 1,0587 | 11,45 | 1,47 |
| 10 | 1,0000 | | | | |
| 8 | 0,9031 | | | | |

Como el tiempo de exposición diario es de 7,5 horas, la concentración media de esa jornada referida a 8 horas es:

$$C_{\text{media}} = \text{MG} \times \Phi = 11,4 \times 1,06 = 12,1 \text{ ppm}$$

$$C_g = C_{\text{media}} \times T_{\text{ex}}/8 = 12,1 \times 7,5/8 = 11,3 \text{ ppm}$$

El valor de $C_g = 11,3$ ppm es inferior al VLA-ED (20 ppm), en esa jornada. Veamos las exposiciones de corta duración. Para utilizar el gráfico de la figura 2, calcularemos VLA-EC/M $G=40/11$, $4=3$, 5 La intersección de la horizontal de este valor con la curva correspondiente a $GSD=1,47$, se sitúa en la zona verde, se pueden aceptar las condiciones de exposición de corta duración.

La valoración respecto al VLA-ED se puede hacer como indica la norma UNE EN 689 (Anexo F). Se obtiene un índice de exposición $I=C_g/VLA-ED$. Si es menor o igual que 0,1 se acepta también la exposición diaria. En este caso $I=11,3/20=0,56$. El criterio indica que se debe muestrear durante dos jornada más y obtener otros dos índices. Se puede aprovechar esta circunstancia para afianzar la conclusión respecto a exposiciones de corta duración, obteniendo las correspondientes C_g de los dos días que restan mediante muestras de 15 minutos tomadas aleatoriamente.

Ejemplo 3:

Para valorar el riesgo higiénico por inhalación de vapores orgánicos, durante un proceso de pintado aerográfico se han tomado muestras de 15 minutos de duración, de vapores de Metiltilcetona (VLA-ED = 200 ppm, VLA-EC = 300 ppm) con los siguientes resultados:

10, 50, 18, 100, 210 ppm. El trabajo dura 8 horas por jornada. Se trata de utilizar los datos para ver si se pueden emitir conclusiones.

Obtendremos la media geométrica de la distribución de concentraciones (MG) y la correspondiente C_g . Obtenemos también la desviación estándar geométrica (GSD) y la fracción VLA-EC/MG:

| C (ppm) | Log10C | 6n-1 (ELog10C) | /5 MG | GSD |
|---------|--------|----------------|--------|--------|
| 10 | 1,0000 | 50 | 1,6990 | 18 |
| 18 | 1,2553 | 0,5373 | 1,6552 | 45,2 |
| 3,45 | 100 | 2,0000 | 210 | 2,3222 |

$$C_g = C_{\text{media}} \text{MG} \times \Phi = 45,2 \times 1,75 = 79,1 \text{ ppm, inferior al VLA-ED}$$

Por otra parte, $VLA-EC/MG = 6,6$

La intersección en la figura 2 de la horizontal de ordenada 6,6 con la curva correspondiente a $GSD=3,45$ cae en la zona 3 ($6\% > p > 7\%$). Ante un valor de GSD tan alto, debería optarse por aplicar medidas de corrección.

Agentes químicos sin valor límite ambiental de corta duración (VLA-EC) asignado. Límites de desviación

Aunque el agente químico no tenga asignado un LEP de tipo VLA-EC, no es admisible, lógicamente, cualquier valor de concentración en periodos de corta duración.

La forma de actuar los agentes químicos en el organismo y los efectos que producen, hace que el tratamiento de las exposiciones de corta duración no sea generalizable, desde el punto de vista toxicológico. Los Límites de Exposición Profesional del INSHT, proponen un criterio general (límites de desviación LD) para estos casos, que consiste en considerar

inaceptables aquellas exposiciones en las que, aún respetándose el VLA-ED, se supere tres veces este valor en periodos de más de 30 minutos, ó cinco veces el VLA-ED, por corta que sea la exposición en una jornada de trabajo. Este criterio, recogido del propuesto por la ACGIH en sus TLV, se fundamenta en la distribución estadística de los resultados de las mediciones y no en la toxicología. Su estricta y literal interpretación genera dudas, como por ejemplo ¿son admisibles concentraciones cuatro veces el valor VLAED en periodos menores de 30 minutos?. En realidad lo que se intenta evitar es la dispersión excesiva y aleatoria de valores de concentraciones dentro de una jornada, ya que ello es indicativo de un control de la concentración ambiental muy deficiente.

Si en una exposición a agentes químicos, los valores de las concentraciones obtenidos con muestras de corta duración tienen una GSD=2, el 5% de todos los valores sobrepasan 3,13 veces la MG (ver tabla 4). Se considera que exposiciones en la que la GSD es superior a 2, no están suficientemente controladas, se conoce poco su génesis y por lo tanto no se deben aceptar ya que pueden existir concentraciones elevadas de corta duración aunque la media correspondiente a 8 horas sea inferior al VLA-ED. Teniendo en cuenta que el 5% de 8 horas son aproximadamente 30 minutos, si el resultado de una muestra de esa duración (o mayor) es tres veces el valor del VL-ED, la GSD de la distribución de concentraciones es excesiva y debe corregirse.

TABLA 4
Porcentaje de muestras que superan la media geométrica según la GSD

| Veces que supera la media geométrica | Porcentaje de muestras | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|-----|-----|------|----|-----|----|-----|----|-----|
| | Desviación estándar geométrica (GSD) | | | | | | | | | |
| | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,75 | 2 | 2,5 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 |
| 1 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| 1,1 | 16 | 36 | 41 | 43 | 45 | 46 | 47 | 47 | 47 | 47 |
| 1,2 | 3 | 24 | 33 | 37 | 40 | 42 | 43 | 44 | 45 | 45 |
| 1,3 | 0 | 16 | 26 | 32 | 35 | 39 | 41 | 42 | 42 | 43 |
| 1,4 | 0 | 10 | 20 | 27 | 31 | 36 | 38 | 39 | 40 | 41 |
| 1,5 | 0 | 6 | 16 | 23 | 28 | 33 | 36 | 37 | 38 | 39 |
| 1,6 | 0 | 4 | 12 | 20 | 25 | 30 | 33 | 35 | 37 | 38 |
| 1,7 | 0 | 2 | 10 | 17 | 22 | 28 | 31 | 34 | 35 | 36 |
| 1,8 | 0 | 1 | 7 | 15 | 20 | 26 | 30 | 32 | 34 | 35 |
| 1,9 | 0 | 1 | 6 | 13 | 18 | 24 | 28 | 30 | 32 | 33 |
| 2 | 0 | 0 | 4 | 11 | 16 | 22 | 26 | 29 | 31 | 32 |
| 2,1 | 0 | 0 | 3 | 9 | 14 | 21 | 25 | 28 | 30 | 31 |
| 2,2 | 0 | 0 | 3 | 8 | 13 | 19 | 24 | 26 | 28 | 30 |
| 2,3 | 0 | 0 | 2 | 7 | 11 | 18 | 22 | 25 | 27 | 29 |
| 2,4 | 0 | 0 | 2 | 6 | 10 | 17 | 21 | 24 | 26 | 28 |
| 2,5 | 0 | 0 | 1 | 5 | 9 | 16 | 20 | 23 | 25 | 27 |
| 2,6 | 0 | 0 | 1 | 4 | 8 | 15 | 19 | 22 | 25 | 26 |
| 2,7 | 0 | 0 | 1 | 4 | 8 | 14 | 18 | 21 | 24 | 25 |
| 2,8 | 0 | 0 | 1 | 3 | 7 | 13 | 17 | 21 | 23 | 25 |
| 2,9 | 0 | 0 | 0 | 3 | 6 | 12 | 17 | 20 | 22 | 24 |
| 3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 12 | 16 | 19 | 21 | 23 |
| 3,1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 11 | 15 | 18 | 21 | 23 |
| 3,2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 10 | 14 | 18 | 20 | 22 |
| 3,3 | 0 | 0 | 0 | 2 | 4 | 10 | 14 | 17 | 19 | 21 |
| 3,4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 9 | 13 | 16 | 19 | 21 |
| 3,5 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 9 | 13 | 16 | 18 | 20 |
| 3,6 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 8 | 12 | 15 | 18 | 20 |
| 3,7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 8 | 12 | 15 | 17 | 19 |
| 3,8 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 7 | 11 | 14 | 17 | 19 |
| 3,9 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 7 | 11 | 14 | 16 | 18 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 7 | 10 | 13 | 16 | 18 |

| | | | | | | | | | | |
|-----|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|
| 4,1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 6 | 10 | 13 | 15 | 17 |
| 4,2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 6 | 10 | 13 | 15 | 17 |
| 4,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 6 | 9 | 12 | 15 | 17 |
| 4,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 9 | 12 | 14 | 16 |
| 4,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 5 | 9 | 11 | 14 | 16 |
| 4,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 8 | 11 | 14 | 16 |
| 4,7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 5 | 8 | 11 | 13 | 15 |
| 4,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 8 | 11 | 13 | 15 |
| 4,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 7 | 10 | 13 | 15 |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 7 | 10 | 12 | 14 |
| 5,1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 7 | 10 | 12 | 14 |
| 5,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 7 | 9 | 12 | 14 |
| 5,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 6 | 9 | 11 | 13 |
| 5,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 6 | 9 | 11 | 13 |
| 5,5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 6 | 9 | 11 | 13 |

El criterio está diseñado para exposiciones en las que se desconocen las causas de una elevada dispersión de los datos, pero debe aplicarse a cualquier exposición cuando el agente no tiene asignado VLA-EC.

Si no son evidentes los periodos de máxima exposición, se puede plantear el muestreo y la valoración respecto al VLA-ED, calculando la C_8 a partir de muestras de igual duración y calcular la GSD correspondiente aceptando sólo las exposiciones en las que además de cumplir con el requisito de que C_8 VLA-ED, la $GSD \leq 2$ que es la base del criterio. Con el mismo criterio se muestran a título de ejemplo en la tabla 5, otros factores limitantes de la concentración, dependiendo del tiempo de duración de las muestras, que implican un valor de la $GSD=2$.

TABLA 5

Factores de excursión para muestras distribuidas según lognormal con $GSD=2$

| DURACIÓN APROXIMADA DE LAS MUESTRAS EN MINUTOS | LÍMITE DE EXCURSIÓN EN VECES QUE SE SUPERA EL VLA-ED |
|--|--|
| 180 | 1,25 |
| 150 | 1,40 |
| 120 | 1,60 |
| 90 | 1,80 |
| 75 | 2,00 |
| 60 | 2,20 |
| 45 | 2,50 |
| 30 | 3,00 |
| 25 | 3,10 |
| 22 | 3,20 |
| 20 | 3,30 |
| 16 | 3,60 |
| 5 ó menos | 5,00 |

Bibliografía

1. LEIDEL, BUSCH Y LYNCH
Occupational Exposure Sampling Strategy
Manual NIOSH. 1977
2. UNE-EN 689
Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y

estrategia de la medición
AENOR. 1996

3. UNE-EN 482
Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos
AENOR. 1995
4. Notas Técnicas de Prevención (NTP **140**, **347**, **406**, **407** y **449**)
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT)

Advertencia

© INSHT