



Documentación

NTP 449: Contaminantes químicos: esquema de decisión para la evaluación de la exposición

Méthode simplifiée pour l'évaluation de l'exposition à contaminants chimiques
Procedure outline for the assessment of chemical contaminants exposure.

Redactores:

Marta Vicén Carreño
Licenciada en Ciencias Físicas.

Félix Bernal Domínguez
Ingeniero Químico.

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO.

Introducción

En la práctica de la higiene industrial se realizan mediciones representativas de la exposición laboral a contaminantes presentes en el aire para evaluar el riesgo que para la salud presenta dicha exposición.

La conclusión tras los resultados del análisis de las muestras debe ser si la concentración en aire de una sustancia determinada está por encima o por debajo del valor límite, entendiendo como valor límite aquel que fije la legislación vigente para determinados contaminantes (plomo, cloruro de vinilo, etc.) o un estándar como los valores TLV (Threshold Limit Value) de la ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, USA).

En esta NTP se propone un procedimiento para tomar una decisión respecto a si la concentración real de un contaminante medido en un puesto de trabajo supera o no el valor límite establecido, a partir de los valores obtenidos en muestreos ambientales.

Los criterios de decisión utilizados suponen una forma sencilla de concluir sobre la exposición, y están inspirados en la Norma 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. Las posibilidades de decisión pueden ser tres:

- a. La concentración en aire es superior al valor límite
- b. La concentración en aire es inferior al valor límite
- c. No se puede llegar a ninguna de las conclusiones anteriores.

En este último caso se ha optado por proponer la realización de mediciones periódicas,

siguiendo el esquema propuesto en el anexo F de la Norma UNE-EN-689.-Ejemplo para la selección de los intervalos entre mediciones periódicas.

En el texto de la presente NTP se ha empleado la siguiente nomenclatura:

- VL: Valor límite, entendido como un valor legal o como un valor de referencia
- C: Concentración ambiental de un contaminante. Concentración media real de un contaminante
- GSD: Desviación geométrica estándar de un conjunto de valores
- CEL: Concentración de la exposición laboral ponderada para un tiempo de 8 horas
- I: Índice de exposición a la sustancia. $I = CEL/VL$

Variabilidad de los resultados ambientales En la industria, los procesos y los agentes son innumerables.

A cada fase de fabricación pueden corresponderle condiciones diferentes y distintos agentes. La distancia a las fuentes de emisión y parámetros físicos tales como la frecuencia de las emisiones, las corrientes de aire o las variaciones meteorológicas, tienen también una gran influencia. La variabilidad resultante de las condiciones de exposición se ve además incrementada por las prácticas individuales.

Todo ello explica que sean frecuentes las fluctuaciones de la concentración de los contaminantes, o que se produzcan grandes variaciones en distancias muy pequeñas o entre días distintos.

Además, hay factores que influyen en la fiabilidad del resultado obtenido al efectuar una valoración ambiental como el método de toma de muestras, el método analítico y el criterio de valoración empleado.

Es necesario, por tanto, elegir cuidadosamente el lugar, el momento y la duración del muestreo para que el resultado obtenido sea representativo de la exposición del trabajador, si esta condición no se cumple todo el tratamiento matemático posterior carece de sentido ya que se realizará sobre valores que no representan la realidad que se pretende evaluar.

Bases estadísticas

Cuando se pretende valorar una exposición se parte normalmente de un conjunto de datos obtenidos individualmente o por grupos a lo largo de un tiempo. Este conjunto de datos constituye una muestra del conjunto de resultados que es posible obtener al medir la concentración de un contaminante en aire en un puesto de trabajo.

Puesto que el número de muestras tomadas es limitado, debe asumirse una determinada función de distribución y, a continuación, determinar su validez. Se suele asumir un modelo lognormal.

En teoría, el hecho de que los resultados de las determinaciones de la concentración de un contaminante en aire se ajuste a una distribución lognormal tiene su origen en los efectos

multiplicativos de las influencias aleatorias en los valores de concentración. La bondad de este modelo ha sido corroborada por diversos estudios experimentales, (Rappaport, 1991).

La relativa sencillez del modelo es otro argumento para su utilización, ya que tomando como variable el logaritmo de la concentración la distribución lognormal se transforma en una distribución normal, más conocida y mucho más fácil de utilizar debido a su simetría, simplicidad y disponibilidad de tablas o de métodos numéricos de cálculo.

Condiciones de aplicabilidad del método

Se tomarán muestras de jornada completa en las condiciones normales de trabajo y en la zona respiratoria del trabajador, de modo que el resultado de la concentración ambiental sea una buena aproximación de la exposición del trabajador a un contaminante por vía inhalatoria.

Para evaluar la exposición utilizando el método propuesto, es necesario que se cumplan una serie de condiciones:

- a. Los valores máximos que tienen lugar durante cortos periodos de la jornada de trabajo satisfacen las condiciones del límite de exposición de corta duración, en caso de que exista.
- b. Las condiciones de operación del trabajo se repiten regularmente.
- c. Las condiciones de exposición no cambian de forma significativa a largo plazo.
- d. Las condiciones de operación que se diferencian claramente se evalúan por separado, calculando posteriormente la exposición conjunta.

Método de decisión

El punto de partida es obtener tres muestras de jornada completa en las condiciones adecuadas. Se hallan los índices de exposición de la sustancia ($I = \text{CEL}/\text{VL}$) de cada jornada.

Se ordenan los valores de I en sentido ascendente: $I_1 < I_2 < I_3$

Se considera el valor intermedio, I_2 , y se sigue criterio indicado, en función de los tres casos posibles que se indican a continuación:

- Situación **verde**: $I_2 < 0.25$

Se concluye que no hay exposición.

- Situación **amarilla**: $I_2 < 1$

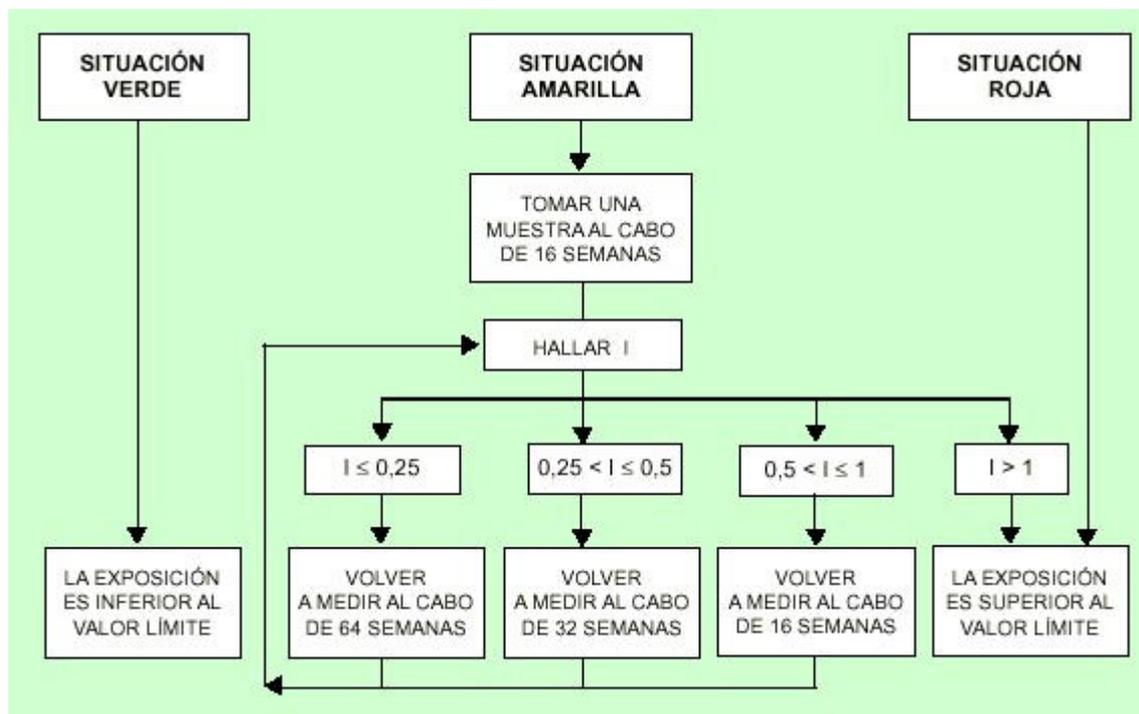
No se puede concluir sobre la exposición. Realizar un muestreo periódico.

- Situación **roja**: $I_2 > 1$

Se concluye que hay exposición.

El esquema de decisión propuesto se recoge esquemáticamente en el cuadro 1. Deben identificarse las causas por las que se supera el valor límite, tomarse las medidas apropiadas de reducción de la exposición tan pronto como sea posible y verificar después que realmente ha disminuido la exposición del trabajador.

CUADRO 1. Esquema de decisión



Ejemplo.

En un laboratorio fotográfico se utiliza hidroquinona como revelador de blanco y negro. El valor TLV-TWA es 2 mg/m^3 . Se pretende evaluar la exposición del trabajador a dicho contaminante utilizando el método propuesto en esta NTP.

Se toman tres muestras de jornada completa en las condiciones adecuadas, y se obtiene como resultado las siguientes concentraciones:

$$C_1 = 1.20 \text{ mg/m}^3, \quad C_2 = 0.70 \text{ mg/m}^3, \quad C_3 = 1.90 \text{ mg/m}^3$$

Se calculan los índices de exposición de la sustancia:

$$I_1 = 0.60, \quad I_2 = 0.35, \quad I_3 = 0.95$$

Se reordenan los valores obtenidos de I en sentido ascendente

$$I_1 = 0.35 \quad I_2 = 0.60 \quad I_3 = 0.95$$

Se considera el valor de I_2 Como $I_2 = 0.60 < 1$, no se puede concluir sobre la exposición.

Por tanto, se recomienda realizar un muestreo periódico.

Se toma otra muestra al cabo de 4 meses (16 semanas).

Se obtiene como resultado de la concentración $C = 2.02 \text{ mg/m}^3$

Se calcula I .

$I = 1.01$. Como $I > 1$, se concluye que la exposición es superior al valor límite.

Pruebas de hipótesis

Se presenta a continuación el procedimiento de decisión que se ha planteado como una prueba de hipótesis para poder calcular la fiabilidad de las conclusiones que se obtienen al aplicarlo. El desarrollo de la prueba de hipótesis es el siguiente:

- **HO (hipótesis):** La concentración media real en un puesto de trabajo es menor o igual que el valor límite:
- **Criterio de aceptación:** La hipótesis se acepta si el valor intermedio de los tres valores obtenidos de las concentraciones está por debajo del 25 % de VL.

Análogamente se plantea la prueba de la hipótesis contraria:

- **H1 (hipótesis):** la concentración media real en un puesto de trabajo es mayor que el valor límite:
- **Criterio de aceptación:** La hipótesis se acepta si el valor intermedio de los tres valores obtenidos de las concentraciones está por encima del VL.

En las figuras 1, 2 y 3 se representan gráficamente las curvas de eficacia, que expresan la probabilidad de aceptar las hipótesis HO o H1 en función del cociente.

$$I_{\text{real}} = C_{\text{real}} / VL$$

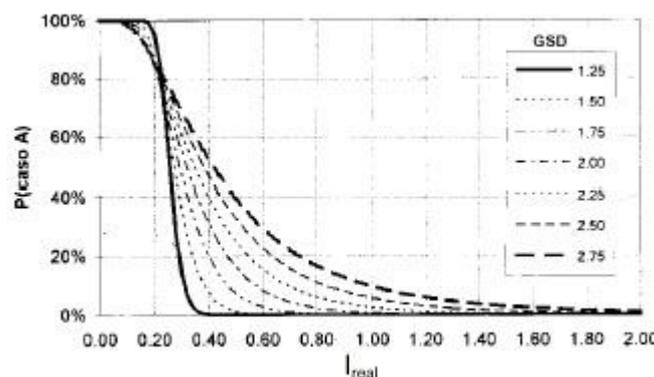


Fig. 1: Probabilidad de obtener $I_2 < 0.25$ en función de los valores de I_{real} y GSD

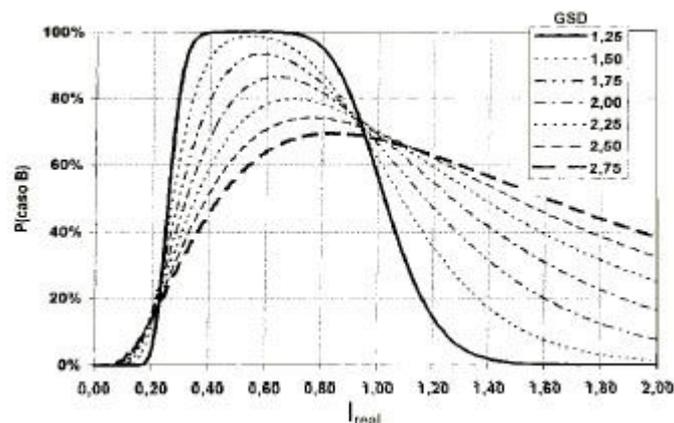


Fig. 2: Probabilidad de obtener $I_2 < 1$ en función de I_{real} y GSD

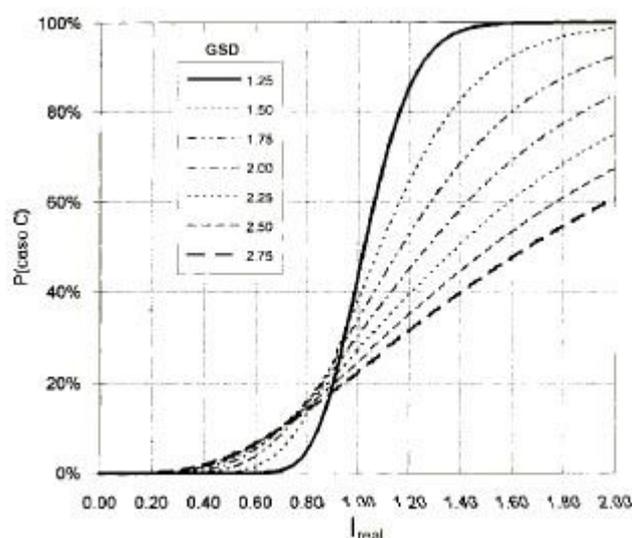


Fig. 3: Probabilidad de obtener $I_2 > 1$ en función de I_{real} y GSD

El parámetro de las curvas es GSD, la desviación geométrica estándar. Se toman valores de GSD entre 1.25 y 2.75, pues la dispersión de los valores de las concentraciones medidas en puestos de trabajo suele estar en este rango.

Un valor de GSD bajo significa que el conjunto de muestras que se pueden obtener en un puesto de trabajo es poco disperso, mientras que un valor de GSD elevado indica una dispersión grande de los resultados. Los conceptos de dispersión grande o pequeña son relativos. La práctica de la higiene industrial confirma que incluso en aquellos casos en que el valor de GSD es pequeño la dispersión de los resultados es relativamente importante, así un valor de GSD de 1.25 significa que el 90% de los resultados estarán comprendidos entre dos valores cuya relación es de 2 a 1, mientras que un valor de GSD de 2.0 implica que la relación de los valores que incluye el 90% de los resultados es de 10 a 1.

Hay que hacer notar que el verdadero valor de GSD en un caso dado únicamente puede conocerse después de obtener un número muy elevado de muestras.

La interpretación de estas curvas es la siguiente: Las curvas de la figura 1 indican la probabilidad de concluir que la concentración es inferior al límite. Fijando la atención en la zona en que $I_{real} > 1$ estas curvas indican la probabilidad de error, es decir la probabilidad de concluir que no hay exposición porque se obtienen dos muestras inferiores al 25% del

VL cuando en realidad el verdadero valor de la concentración es superior al VL. Esta probabilidad de error es inferior al 10%.

De forma similar, las curvas de la figura 3 indican la probabilidad de concluir que la concentración es superior al VL. La zona de la izquierda, cuando $I_{real} < 1$, indica la probabilidad de error, es decir la probabilidad de concluir que se supera el VL, porque se obtienen dos muestras superiores al VL, cuando en realidad el verdadero valor de la concentración es inferior al VL. La probabilidad de error en este caso puede ser hasta del 40%, pero hay que hacer notar que es un error por el lado de la seguridad. Por otra parte para valores de I_{real} inferiores al 70% del VL la probabilidad de error es inferior al 10%.

Finalmente la Figura 2 indica la probabilidad de que la muestra intermedia este comprendida entre el 25% y el 100% de VL, y por tanto no obtener ninguna conclusión definitiva, como puede apreciarse en las curvas, esta probabilidad es relativamente elevada cuando el valor medio real de la concentración es superior al 30% del VL. Si el valor de GSD es elevado, la probabilidad de llegar a esta conclusión se mantiene elevada incluso para valores de I_{real} muy por encima del 100%.

Conclusión

El procedimiento de decisión propuesto, tiene la ventaja de la sencillez, ya que no requiere utilizar tablas o ábacos, manteniendo la probabilidad de error dentro de límites aceptables. El inconveniente es que plantea de entrada la necesidad de obtener tres muestras en cada puesto de trabajo, si bien este inconveniente es más aparente que real ya que excepto en los casos en que la situación de exposición (o no exposición) sea casi evidente, se deberá recurrir a obtener varias muestras para poder llegar a una conclusión sobre la exposición de un trabajador a un contaminante, cualquiera que sea el procedimiento de decisión que se adopte.

Bibliografía.

(1) UNEEN 689 (1995)

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. Asociación Española de Normalización y Certificación.

(2) JUDA, J.; BUDZINSKI, K. (1964)

Fehler bei der Bestimmung der Mittleren Staubkonzentration als Function der Anzahl der Einzelmessungen. (Errors in determining the mean dust concentration as a function of the number of random measurements)

StaubReinhalt. Luft. 24:283-287

(3) LEIDEL, N.A.; BUSCH, K.A. and CROUSE, W. E.

Exposure measurement, action level and occupational environmental variability

Publicacion Nº 76-131, NTIS Pub. No. PB-267-509. National Technical Information service, Springfield, VA (diciembre 1975)

(4) LOPEZ, M. (1992)

Fundamentos y métodos de estadística

Pirámide, S.A. Madrid.

(5) OLDHAM, P. (1953)

The nature of the variability of dust concentrations at the coal face.

Br. J. Ind. Med. 10: 227-234

(6) RAPPAPORT, S.M. (1991)

Assessment of longterm exposures to toxic substances in air (Review)

Ann. Occup. Hyg. 35(1): 61-121

(7) RÍOS, S. (1967)

Métodos estadísticos

Ediciones del Castillo, S.A. Madrid

(8) ROACH, S.A. (1959)

Measuring dust exposure with the thermal precipitator in collieries and foundries

Br. J. Ind. Med. 16:104-122

Advertencia

© INSHT