



MINISTERIO
DE TRABAJO
Y ASUNTOS SOCIALES



INSTITUTO NACIONAL
DE SEGURIDAD E HIGIENE
EN EL TRABAJO

Documentación NTP 407: Contaminantes químicos: evaluación de la exposición laboral (II)

Chemical agents: Occupational exposure assesment
Agents Chimiques: Évaluation de l'exposition professionnelle

Redactor:

Pablo Luna Mendaza
Ldo. en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

Planteamiento del muestreo

La diferencia entre exposiciones repetitivas y no repetitivas no siempre es evidente. En el mejor de los casos, cuando mediante el juicio profesional (a través de la experiencia o de mediciones anteriores) se pueda establecer con seguridad que una exposición es repetitiva, la Norma UNE EN-689 establece en su Anexo C (informativo) un sistema de muestreo y toma de decisiones, basado en el ahorro de medios y recursos, cuya sistemática se puede ver en la fig. 1.

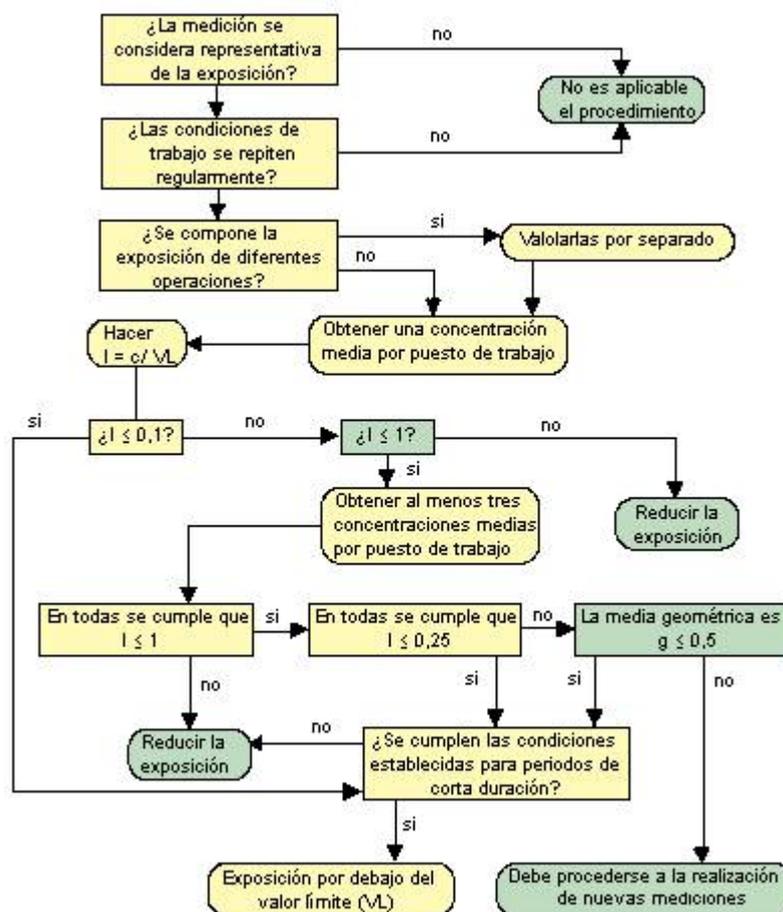


Fig. 1: Evaluación de las exposiciones a través de la medición ambiental. Esquema de actuación según UNE-EN-689

En este método se utiliza un índice I que se define como,

$$I = C \times T_e / VL \times T_r$$

también se puede expresar como porcentaje

$$\% \text{ EMP} = (C \times T_e / VL \times T_r) \times 100$$

siendo,

I = índice de exposición

% EMP = Porcentaje de la exposición máxima permitida

C = Concentración media relativa al tiempo de exposición

T_e = Tiempo de exposición al agente químico en cuestión, durante la jornada laboral

VL = Valor límite del agente químico para un tiempo de exposición T_r

T_r = Tiempo de referencia del valor límite, habitualmente 8 horas / día.

Cuando el trabajo se compone de diferentes tareas de duración T_1, T_2, \dots, T_n la concentración media C, se calcula ponderando en el tiempo las diferentes concentraciones medias obtenidas en las diferentes tareas (C_1, C_2, \dots, C_n) de forma que:

$$C = \{ C_1 \times T_1 + C_2 \times T_2 + \dots + C_n \times T_n \} / \{ T_1 + T_2 + \dots + T_n \}$$

Cuando existen dudas acerca de la repetitividad o no de la exposición, o cuando se desee un resultado más fiable, es necesario recurrir al muestro aleatorio y al tratamiento estadístico de los datos.

Tratamiento estadístico de los datos

Las concentraciones ambientales correspondientes a una exposición laboral a agentes químicos se distribuyen según los principios de probabilidad log-normal. Si se dispone de varias muestras correspondientes a una exposición determinada puede utilizarse el método descrito en la **Nota Técnica de Prevención 347-1994** que permite estimar el valor más probable de la concentración media y su intervalo de confianza, con un nivel de confianza del 95 %.

En el Anexo G (informativo) de la mencionada Norma UNE EN-689 se describe un método gráfico para estimar la concentración media de una serie de muestras y la probabilidad de superar el valor límite.

Se trata de obtener un gráfico de probabilidad log-normal en cuyo eje de abscisas se leerá la frecuencia acumulada y en ordenadas el valor del logaritmo de las concentraciones

halladas en el puesto de trabajo. La sistemática a seguir es la siguiente:

1. Disponer de papel de probabilidad normal en el que la escala del eje de ordenadas sea logarítmica (Ver la gráfica).
2. Ordenar los valores disponibles de concentraciones ambientales de menor a mayor.
3. Asignar a cada valor de concentración ambiental otro en el eje de abcisas, resultado de aplicar la siguiente expresión:

$$\text{Valor en eje de abcisas (\%probabilidad)} = 100 (n - 0,5) / N$$

donde n es el ordinal que le corresponde a cada concentración ambiental ordenadas según lo indicado, y N es el número de muestras disponibles.

4. Dibujar los puntos en el papel de probabilidad.
5. Trazar la recta que mejor se ajuste a los puntos dibujados, con especial atención a los incluidos entre el 20% y el 80% de probabilidad.
6. Trazar una recta horizontal correspondiente al valor en ordenadas del valor límite de referencia para el agente químico en cuestión.

Del gráfico así obtenido se obtiene la siguiente información: el valor en abcisas del punto de intersección de la horizontal correspondiente al valor límite, con la recta ajustada de las muestras disponibles, nos da la probabilidad de que no se supere dicho valor límite. La diferencia entre esa probabilidad y el 100%, **es la probabilidad de que se supere el valor límite**. La media geométrica es el valor correspondiente a una probabilidad del 50%. **La desviación estándar geométrica** es el resultado de dividir el valor correspondiente a una probabilidad del 84% por el valor de probabilidad 50%.

La hipótesis de lognormalidad de la distribución de los resultados de las muestras se ve reforzada, cuando estos permiten un buen ajuste gráfico a la correspondiente recta. Cuando el ajuste no es posible o es deficiente, puede suponerse que existe más de una exposición, o un muestreo incorrecto.

Ejemplo:

Se dispone de 30 muestras de un agente químico cuyo valor límite es de 8 ppm.

En la tabla 1 figuran los valores de las concentraciones y el valor que le corresponde en abcisas en función de su ordinal y del nº total de muestras N = 30

Tabla 1

Concentración (ppm)	%probabilidad
0,70	1,67
1,04	5,00
1,09	8,33
1,10	11,67
1,43	15,00
1,50	18,33
1,58	21,67
1,90	25,00
2,11	28,33
2,20	31,67
2,30	35,00
2,61	38,33
2,89	41,67
2,90	45,00
3,37	48,33
3,70	51,67
4,14	55,00
4,17	58,33
4,25	61,67
4,32	65,00
4,50	68,33
5,00	71,67
5,42	75,00
5,93	78,33
6,15	81,67
6,37	85,00
7,01	88,33
7,52	91,67
9,22	95,00
12,00	98,33

El gráfico de probabilidad que se obtiene según lo explicado anteriormente se puede ver en la fig. 2.

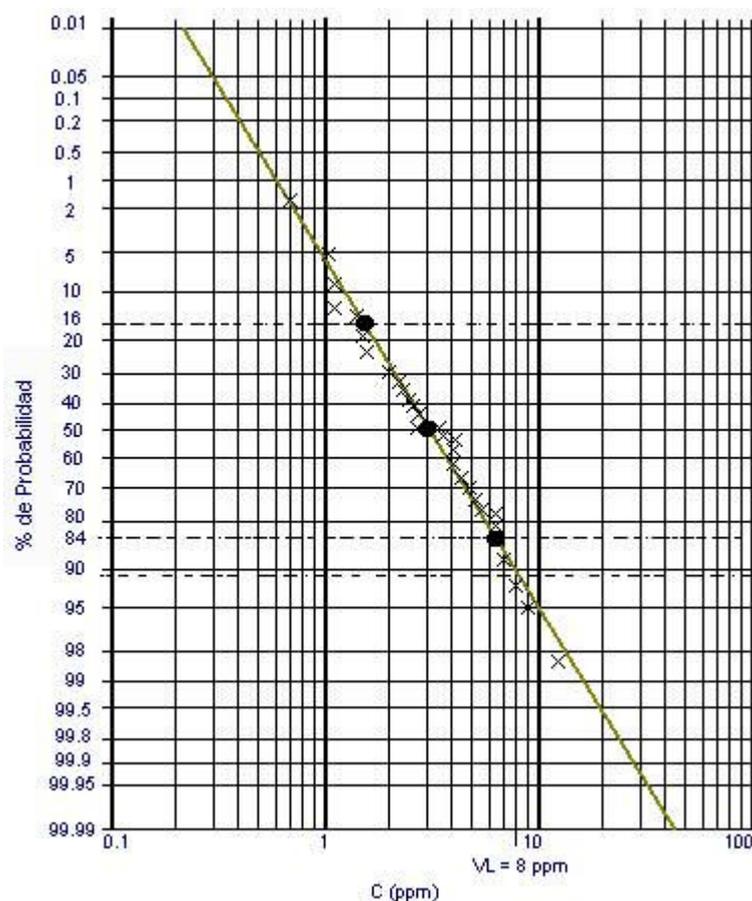


Fig. 2

Los resultados una vez observado el gráfico son los siguientes:

- Media geométrica = 3,1 ppm (% prob. = 50)
- Desviación estándar geométrica = $6,2 / 3,1 = 2$ (valor de C para 84% de prob. / valor de C para 50% de prob.)
- La probabilidad de superar el valor límite es del 9%. Se obtiene de restar de 100% el valor de la abcisa del punto de intersección de la recta de ajuste y la horizontal del valor límite (91%)

Grupos homogéneos de exposición

Cuando un conjunto de trabajadores están sometidos a una exposición similar se dice que forman un Grupo Homogéneo de Exposición (GHE). Para la evaluación de la exposición de un GHE puede significar un ahorro de medios y recursos, realizar el muestreo ambiental sobre algunos de los componentes del conjunto y extrapolar el resultado a la totalidad del GHE.

La experiencia demuestra que es muy difícil hallar grandes grupos de trabajadores igualmente expuestos, por lo que se recomienda seleccionar con cuidado los GHE eligiendo pequeños grupos de trabajadores y como regla general, descartar como GHE aquellos grupos en los que se den resultados de concentración ambiental tales que $C_i \leq C_m / 2$ ó $C_i \geq 2 C_m$, donde C_i es la concentración media hallada en cualquier muestreo

individual y C_m es la media de las concentraciones individuales.

Toma de decisiones

El objetivo fundamental de la evaluación es conocer la magnitud de la exposición, y poder tomar decisiones dependiendo del resultado. Los resultados de la evaluación deben conducir a una de las tres conclusiones siguientes:

- **La exposición está por debajo del máximo admisible** (riesgo aceptable): Esta conclusión permite mantener las condiciones de trabajo hasta que se produzcan cambios.
- **Existen dudas acerca de la magnitud de la exposición** (riesgo incierto): Debe establecerse un programa de muestreos periódicos que permitan acotar mejor los resultados de la evaluación o controlar que no se supera el valor máximo considerado.

Como norma general la programación de muestreos periódicos puede llevarse a cabo eligiendo la fecha del siguiente muestreo en función del resultado de la última medición realizada, según el siguiente criterio: Si $C \leq 0,25 \text{ VL}$ el siguiente muestreo se realizará al cabo de 64 semanas; si $0,25 \text{ VL} \leq C \leq 0,50 \text{ VL}$ el siguiente muestreo se realizará al cabo de 32 semanas; si $0,50 \text{ VL} \leq C \leq \text{VL}$ el siguiente muestreo se realizará al cabo de 16 semanas, siendo C la concentración media obtenida en el último muestreo (periódico) y VL es el Valor Límite considerado del agente químico.

- **La exposición está por encima del máximo admisible (riesgo inaceptable)**: Exige la adecuación inmediata de medidas preventivas, cuya eficacia estará en función de lo que afecten a los factores de riesgo mencionados anteriormente. Con posterioridad debe realizarse una nueva evaluación y obtener las correspondientes conclusiones.

Si la estrategia de muestreo aplicada es la que se indica en la figura 1 se llega a una de las tres conclusiones mencionadas, directamente a través del diagrama de flujo. Si el sistema de muestreo es aleatorio, puede obtenerse la expresión %EMP (ver apartado: Planteamiento del muestreo), utilizando la media hallada tras el tratamiento estadístico de los datos y comprobar si es mayor o menor que 100 (Exposición Máxima Permitida). Si el valor del % EMP es mayor que 100, la conclusión será en general que se supera la exposición límite. En caso contrario debe estudiarse el intervalo de confianza y en función del valor máximo que puede tomar la media, concluir sobre la aceptación de la situación o sobre la necesidad de continuar el muestreo para reducir el intervalo de confianza y profundizar en el conocimiento de la verdadera exposición, o bien decidir dependiendo de la probabilidad de superar el valor límite, que se obtiene mediante la sistemática descrita en el apartado: Tratamiento estadístico de los datos.

Exposición por vías dérmica y digestiva

La evaluación de la exposición a un agente químico, debe contener el estudio de las posibles exposiciones por vía dérmica o digestiva, y una estimación de la importancia de esas exposiciones, no sólo por el riesgo que puedan suponer cada una de ellas, sino por la contribución a la dosis global absorbida por los individuos. Dado que no es posible cuantificarlas, el objetivo es recabar información a cerca de las sustancias manipuladas y determinados factores de riesgo que permitan decidir acerca de las medidas preventivas a

adoptar y la priorización de las mismas.

Vía dérmica

Factores de riesgo que aporta el agente químico

La American Conference of Governmental Industrial Hygienists en sus publicaciones periódicas de los valores límite ambientales de las sustancias químicas añade una notación (piel) a algunas de esas sustancias para indicar que pueden ser absorbidas por la piel o las mucosas de los ojos. Parecida información suministra el German Research Association (DFG), en las listas de valores máximos admisibles (MAK).

En general deben tenerse en cuenta las exposiciones por vía dérmica a aquellas sustancias cuya Dosis Letal (LD 50) experimentada en ratas, por esa vía, sea inferior a 1000 mg / Kg. Como ayuda en la valoración de la exposición puede servir la clasificación toxicológica que se expone en la tabla 2.

Tabla 2 Vía dérmica. Clasificación toxicológica

Nivel de toxicidad	LD50 (mg/kg), a través de la piel en ratas o conejos
Baja toxicidad	> 10000
Ligeramente tóxicas	5000 ÷ 10000
Moderadamente tóxicas	200 ÷ 5000
Altamente tóxicas	20 ÷ 200
Extremadamente tóxicas	<20

Factores de riesgo que aportan las condiciones del puesto de trabajo

- **Área de exposición de la piel:** La superficie de la piel en contacto con la sustancia, ya sea un líquido o el condensado de vapores de compuestos químicos de baja presión de vapor, es determinante en la cantidad de sustancia absorbida, siendo ésta mayor cuanto mayor es la superficie de contacto.
- **Estado físico de la piel expuesta:** el deterioro de la piel de la persona expuesta, bien por erosión mecánica o como consecuencia del contacto frecuente con detergentes, facilita la penetración a través de la epidermis.
- **Temperatura ambiente y actividad física de la persona expuesta:** la temperatura o la actividad física elevadas, facilitan la perfusión de la sustancia a la sangre.
- **Duración de la exposición:** la dosis absorbida a través de la piel es directamente proporcional al tiempo de duración de la exposición.
- **Humedad:** la humedad ayuda a vehicular a las sustancias a través de la piel, por lo que puede suponer un incremento de la exposición.

Vía digestiva

Aunque la exposición por vía digestiva a un agente químico no es cuantificable, puede estimarse su importancia teniendo en cuenta los siguientes factores:

Factores de riesgo que aporta el agente químico

La información toxicológica de la sustancia por vía digestiva es el factor limitante de la exposición. Si se dispone de valores de las LD50 oral en rata de laboratorio puede utilizarse la tabla 3 para clasificar al agente en uno de los cuatro grupos de nivel de toxicidad. Si no se dispone de estos datos se clasificará provisionalmente como mínimo en el grupo de Nocivos.

**Tabla 3: Vía digestiva.
Clasificación toxicológica**

Nivel de toxicidad	LD50 (mg/kg), oral en ratas
Inocuos	> 2000
Nocivos	200 ÷ 2000
Tóxicos	25 ÷ 200
Muy tóxicos	< 25

Factores de riesgo que aportan las condiciones del puesto de trabajo y el comportamiento del individuo

La exposición a un agente químico por vía digestiva debe ser contemplada cuando se encuentra en forma de aerosol, en especial polvo. Los factores negativos que pueden influir en la exposición son entre otros los siguientes:

- Concentraciones ambientales apreciables del agente.
- Polvo depositado en superficies.
- Polvo adherido a la ropa de trabajo y al cabello (especialmente barba y bigote).
- Presencia habitual de agente en cara y manos de los operarios.
- Hábitos de comer o fumar en las cercanías del puesto de trabajo.
- Aseo personal deficiente.

La existencia de alguno/s de estos factores combinada con la clasificación toxicológica del agente permite estimar la importancia de la exposición por vía digestiva para la toma de decisiones.

Bibliografía

(1) NORMA ESPAÑOLA 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. Marzo de 1996

(2) **REAL DECRETO 363 DE 1995.**

Reglamento sobre notificación de sustancias nuevas y clasificación, envasado y etiquetado de sustancias peligrosas, modificado por la Orden de 13 de Septiembre de 1995.

(3) REAL DECRETO 1078 DE 1993.

Reglamento sobre clasificación, envasado y etiquetado de preparados peligrosos, modificado por la Orden de 20 de Febrero de 1995 y por el RD/365195.

(4) **DIRECTIVA DEL CONSEJO 90/394/CEE.**

Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes cancerígenos durante el trabajo.

(5) CASTELLÁ, J.L., MARÍ V.

Los criterios rápidos de valoración higiénica: su aplicación a las operaciones de soldadura.

Fundación Mapfre. Madrid 1979

(6) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH).

Ventilación Industrial

Generalitat Valenciana. 1992

(7) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH).

Treshol Limit Values 1994-95

(8) CASTEJON, E.

Contaminantes químicos. Evaluación de las concentraciones ambientales. NTP-347
INSHT. 1994.

(9) ARENAZ, JC

Absorción de sustancias químicas por la piel.

NTP-336

INSHT. 1994.

(10) GERMAN RESEARCH ASSOCIATION. (DBF)

List of MAK and BAT Values. 1995

(11) GERALD L. KENNEDY ET AL.

Assignment of Skin Notation for Treshold Limit Values Chemicals Based on Acute Dermal Toxicity.

Appl. Occup. Environ. Hyg. 8 (1) Enero 1993

(12) AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS (ACGIH).

Documentafion of TLV. Volumen III. 1991