



## Documentación y mediciones

# NTP 140: Estadística ambientales

Echantillonnage de l'environnement et statistique  
Environmental sampling and statistics

### Redactor:

José Luis Castellá López  
Ingeniero Químico. I.Q.S.  
Ingénieur du Génie Chimique. I. G. C

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA TÉCNICA - BARCELONA

## Objetivo

La literatura sobre aspectos estadísticos del muestreo procede en su práctica totalidad de los Estados Unidos lo que hace que, implícitamente, asuma una práctica legislativa determinada que condiciona en gran medida las metodologías empleadas.

En la presente NTP se pretende abordar, desde un punto de vista general e independiente de cualquier reglamentación, la problemática derivada de la variabilidad "natural" de la concentración ambiental, dando criterios para el tratamiento estadístico de los resultados obtenidos.

## Introducción

La valoración higiénica clásica de un puesto de trabajo se efectúa comparando la exposición a contaminantes que sufre el trabajador que lo ocupa con las correspondientes "exposiciones máximas permisibles" contempladas en el criterio de valoración elegido. En general es la concentración media ponderada en el tiempo el parámetro básico a través del cual se cuantiza la exposición y su medición se realiza mediante un procedimiento de toma de muestras/análisis. Un puesto de trabajo queda caracterizado cuando se ha determinado su ciclo de trabajo, es decir, el mínimo conjunto ordenado de tareas que se repite idéntica y sucesivamente; entre dos ciclos cualesquiera no deben existir diferencias macroscópicamente observables. A efectos de valoración higiénica la exposición a contaminantes quedará caracterizada por la duración del ciclo de trabajo y las concentraciones medias existentes durante el mismo; en consecuencia las mediciones que se efectúen para determinar dichas concentraciones deberán cubrir uno o varios (pero siempre un número entero) de ciclos de trabajo.

## Representatividad de las mediciones

Tres posibles tipos de error deben tenerse siempre en cuenta para evitar que los resultados de una medición sean poco representativos de la situación realmente existente a nivel del puesto de trabajo.

El primero - y a menudo, el de mayor importancia - ocurre a la hora de analizar el puesto y determinar el ciclo de trabajo. Con frecuencia la distribución a lo largo del tiempo de las operaciones realizadas y de los productos manejados es lo suficientemente compleja como para que resulte difícil de sistematizar en base a un "ciclo de trabajo repetitivo". La incorrecta estimación del ciclo de trabajo quita representatividad a cualquier medición posterior que pueda realizarse. Por su naturaleza este tipo de error no es tratable estadística mente y en su minimización juega un importante papel la experiencia del higienista.

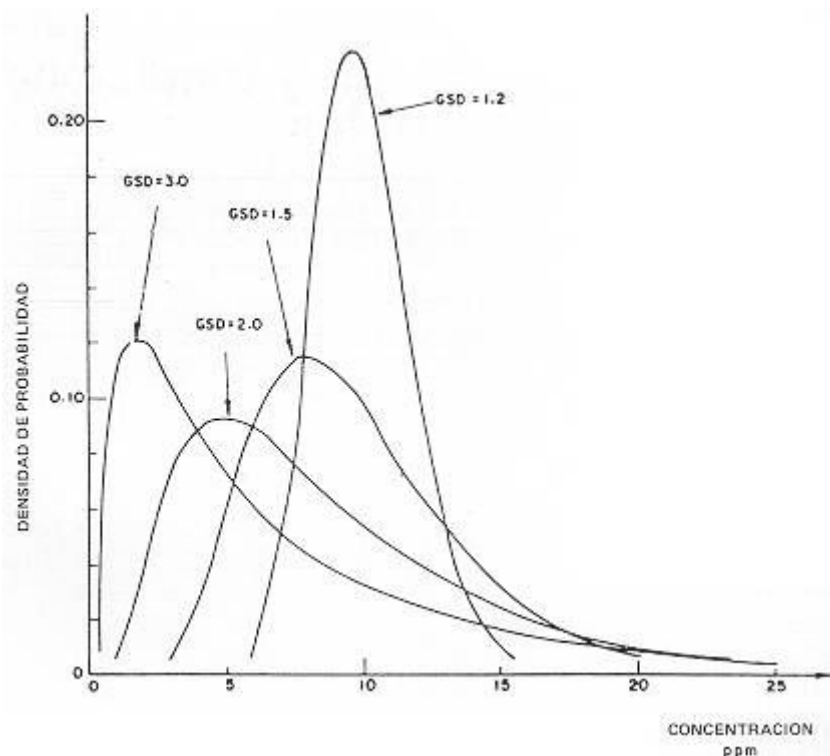
El segundo tipo de error es el imputable al método e instrumental de medición, (en general de toma de muestras y análisis), que puede dar lugar a diferencias apreciables entre la concentración media medida y la realmente existente durante el ciclo de trabajo muestreado. En el estado actual de la técnica (si se elige el método e instrumental adecuado y se realizan las calibraciones necesarias) este tipo de error suele ser despreciable en relación a los otros tipos considerados.

El tercer tipo de error es debido a variaciones aleatorias no observables de determinados factores (corrientes de aire, pequeñas modificaciones en la forma de realizar la tarea, etc.) que pueden influir considerablemente sobre la concentración existente en cada momento. Es por ello que mediciones similares tomadas en ciclos de trabajo diferentes dan resultados distintos, aun cuando el error debido al método e instrumental de muestreo/análisis sea prácticamente nulo. En definitiva la concentración ambiental media correspondiente a un ciclo de trabajo es una variable aleatoria, y no puede considerarse por tanto como una constante que se mantiene como tal a lo largo de los ciclos sucesivos. En consecuencia, si se quiere controlar el posible error debido a estas fluctuaciones de la concentración, deberán tomarse varias mediciones y tratar estadística mente los resultados así obtenidos.

## **La distribución log-normal de las concentraciones ambientales**

Se ha demostrado experimentalmente que la concentración medida durante un determinado ciclo de trabajo es una variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad lognormal (es decir, que los logaritmos de dicha variable siguen una ley normal). Ello significa que las concentraciones pueden variar teóricamente entre cero e infinito, y que la probabilidad de que la concentración medida esté más o menos alejada de la concentración media real depende de la mayor o menor desviación típica (dispersión) de la distribución o, lo que es lo mismo, de la mayor o menor variabilidad de los factores aleatorios que influyen sobre la concentración.

La variabilidad de las concentraciones medidas suele ser, en la práctica, considerable. Como parámetro indicador de la misma acostumbra a emplearse la llamada desviación standard geométrica (GSD) de las concentraciones; la GSD es el antilogaritmo de la desviación standard de la distribución de los logaritmos de las concentraciones. La desviación standard geométrica puede variar teóricamente desde 1 (concentración constante) hasta cualquier valor positivo superior a la unidad, aunque en la práctica los valores encontrados suelen hallarse en el intervalo de 1,25 a 2,5. (Figura 1).



**Fig. 1: Distribuciones lognormales de igual media aritmética (10 ppm) y distintos G.S.D.**

Distribuciones lognormales de igual media aritmética (10 ppm) y distintos G.S.D.

En la tabla que se inserta a continuación se indica, en el supuesto de que la concentración media real fuese 10 ppm, la amplitud del intervalo en el que se encontrarían el 50% de las muestras obtenidas para distintos valores de GSD; ello implica por tanto que el 50% restante se encontrarían fuera de dicho intervalo.

GSD	INTERVALO, ppm
1,25	8,6 - 11,6
1,50	7,6 - 13,2
1,75	6,8 - 14,6
2,00	6,3 - 16,0
2,25	5,8 - 17,3
2,5	5,4 - 18,6

Conociendo el tipo de distribución que siguen las concentraciones ambientales es posible tratar los resultados obtenidos en una serie de muestras para llegar a una estimación de la concentración media real. Dicha estimación puede expresarse, a través de límites de confianza, en la forma: "la concentración media está comprendida entre A y B, con un  $\alpha$  % de probabilidad."

## Estimación de la concentración media. Método de cálculo

Sean  $C_1, C_2, \dots, C_n$  las concentraciones obtenidas en  $n$  mediciones. Sean  $y_1, y_2, \dots, y_n$  los logaritmos de dichas concentraciones y su media y  $S$  su desviación standard. Obténganse a partir de la figura 2 y tal como se indica en el siguiente ejemplo los valores de  $z_1$  y  $z_2$ . SE PUEDE AFIRMAR CON UN 90% DE CERTEZA QUE LA

CONCENTRACIÓN MEDIA ESTA COMPRENDIDA ENTRE  $C_{\max}$  y  $C_{\min}$ , donde:

$$C_{\max} = 10^{(\bar{y} - z_1)} \text{ y } C_{\min} = 10^{(\bar{y} - z_2)}$$

Ejemplo: Se han tomado 3 muestras, obteniéndose las concentraciones que se especifican en la siguiente tabla:

C mg/m <sup>3</sup>	Log C	Log <sup>2</sup> C
2,0	0,301	0,0906
2,4	0,380	0,1490
3,0	0,477	0,2275
$\Sigma$ 7,4	1,158	0,4671

$$y = \log C$$

$$y^2 = \log^2 C$$

$$n = 3$$

$$\bar{y} = \frac{1}{3} \Sigma y = 0,386$$

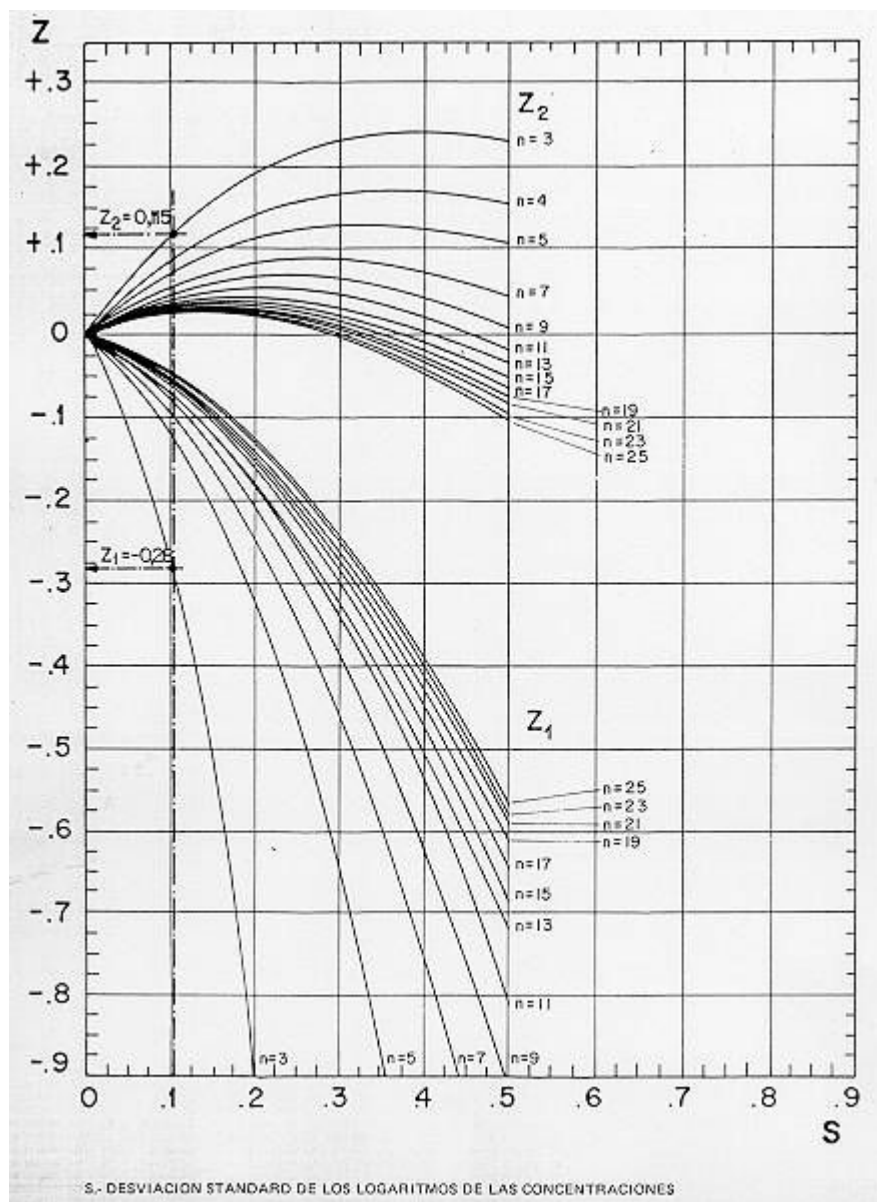
$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(y - \bar{y})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\Sigma y^2 - n\bar{y}^2}{n-1}} = 0,101$$

De la <HOT=h1;WIDTH=8000;TEXTO=Cálculo de los valores  $Z_1$  y  $Z_2$ >figura 2 se obtiene:

$$z_2 \cong + 0,115 \text{ y } z_1 \cong - 0,28$$

$$C_{\min} = 10^{0,271} = 1,87 \text{ y } C_{\max} = 10^{0,66} = 4,63$$

"Puede afirmarse con un 90% de certeza que la concentración media está comprendida entre 1,87 y 4,53 mg/m<sup>3</sup>.



**Fig. 2: Cálculo de los valores  $z_1$  y  $z_2$**

## Bibliografía

- (1) LEIDEL, N.A., BUSCH, K.A., LYNCH, J. R.  
**Occupational Exposure Sampling Strategy Manual NIOSH Publication No. 77-173**