

Comparación de las incertidumbres de las incorporaciones diarias de aerosoles de UO_2 usando tomamuestras fijos y muestreadores de medida continua

Agustín Pérez, Diego Ortiz, Guillermo Sánchez*.

ENUSA Industrias Avanzadas. S.A. Apdo 328.37007 Salamanca.

(*) Persona de contacto: gsl@fab.enusa.es

Abstract.- Intakes of radiological material in Juzbado and other facilities where airborne contamination can be found, is calculated through static air samplers (SAS). In this samplers, air pass trough a cellulose filter, where contamination is collected. The samplers measure the average activity registered in each sampling point on a given period. To evaluate the uncertainty in the intakes due to use average concentration instead of real concentration, continuous air samplers (ABPM) were use. This equipment can measure airborne concentration continuously. The concentration measured in every ABPM can be fitted into a log-normal distribution. This was used to develop a method that allows us to estimate the uncertainties associated to the actual method of intake estimation.

INTRODUCCIÓN

En la fábrica de Juzbado se fabrican elementos combustibles para reactores de agua ligera. Existe riesgo de contaminación ambiental con aerosoles de óxidos de uranio en algunas áreas, en particular en las áreas que forman la Zona Cerámica. La dosis interna para los trabajadores de dichas áreas, se calcula por medio de muestreadores estáticos (SAS) situados en los lugares de trabajo. En estos muestreadores, el aire pasa a través de un filtro donde se recogen los aerosoles. Este filtro se sustituye periódicamente, o bien al cambiar el turno, o bien al finalizar el día, y se mide la actividad recogida en todo el periodo de muestreo. Con los datos de la actividad medida y el tiempo de muestreo se calcula la concentración. Dado que la actividad que se mide es la debida a los aerosoles recolectados en el turno realmente lo que se obtiene es la concentración promedio durante dicho periodo. El trabajador registra a lo largo de la jornada los periodos de tiempo que ha permanecido junto a cada tomamuestras fijo. En la fig. 1 se representa la situación a la que esta sometida el trabajador. A partir de los tiempos de permanencia y de las concentraciones promedio estiman las incorporaciones individuales. Al usar la concentración promedio se tiene una incertidumbre estadística respecto a la concentración verdadera (desconocida) durante el tiempo que el trabajador ha permanecido junto al filtro. Eso implica que por esta causa se tenga una incertidumbre estadística en la estimación de las incorporaciones diarias. Para evaluar esta incertidumbre se han utilizado muestreadores en continuo (llamados ABPM)) que miden instantáneamente la concentración y

por consiguiente permiten estimar la variabilidad de la concentración a lo largo del turno. A partir de los datos de algunos de estos ABPM se ha comprobado las concentraciones pueden representarse por una distribución log-normal. Este hecho se ha utilizado para estimar las incertidumbres que se comete al usar muestreadotes fijos.

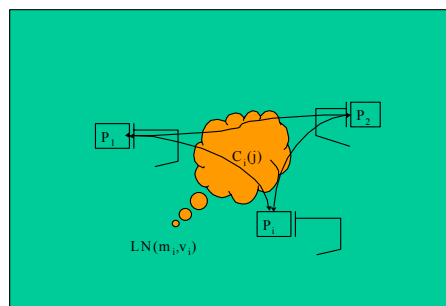


Figura 1 El trabajador se desplaza dentro de una misma área permaneciendo un tiempo variable en los tomamuestras de ese área. Se ha observado que la actividad diaria medida en cada tomamuestras puede aproximarse a una distribución logarítmico normal

ESTIMACION DE LAS INCORPORACIONES A PARTIR DE TOMAMUESTRAS FIJOS.

Para estimar las incorporaciones de aerosoles de uranio a los trabajadores de la Zona Cerámica [Sánchez y Pérez F, 2003] se utilizan tomamuestras fijos ubicados en lugares representativos de las condiciones ambientales en las que se encuentran los trabajadores. Cada tomamuestras tiene un filtro, donde se depositan los aerosoles, que es periódicamente recogido (usualmente al cambio de turno). A

continuación se mide la actividad acumulada en cada filtro A_{id} (actividad medida el día d en el tomamuestras situado en el punto i). La concentración media C_{id} será

$$C_{id} = A_{id} / (rT) \quad (1)$$

r el flujo del tomamuestras, que se supone constante y T el tiempo en el que permanece el filtro en el tomamuestras (asumimos que es constante y corresponde a la duración de un turno de trabajo). Cada trabajador registra cada día d el tiempo Δt_{id} de permanencia junto a cada tomamuestras i . La incorporación total de un trabajador el día d se estima como sigue:

$$I_d \approx \frac{R}{rT} \sum_{i=1}^n A_{id} \Delta t_{id} \quad (2)$$

donde R es la tasa de respiración del trabajador que se considera constante. Por simplicidad supondremos $r = R$ (aunque esto no se verifique no afecta a las conclusiones), asimismo consideraremos que $T = 1$ día laborable (desde aquí cuando nos refiramos a día, se entenderá que es 1 turno de 8 h), y que los tiempos de permanencia se expresan en fracciones de 1 día y A en Bq. Con estos criterios la ecuación anterior nos queda:

$$I_d (\text{Bq/día}) \approx \sum_{i=1}^n A_{id} \Delta t_{id} \quad (3)$$

Esta ecuación es una aproximación, y no una igualdad, pues implícitamente se está suponiendo que la concentración en cada punto de muestreo i es constante a lo largo del día d (realmente ésta va variando, pero esta variación es desconocida, lo que se conoce es la actividad acumulada en el filtro todo el turno y de aquí se obtiene la concentración media). Por este motivo se comete un error en la asignación de la actividad del filtro i al intervalo de tiempo Δt_{id} . Por otro lado el propio trabajador inevitablemente cometerá un error en la asignación de los tiempo de permanencia, Δt_{id} . En cualquier caso, aunque el registro fuese exacto esto no mejora la información que se tiene sobre la concentración a la que ha estado sometida el trabajador, pues no se conoce cual es la concentración real en el periodo en el que el trabajador a permanecido en el punto i . Cada trabajador registra el tiempo total de permanencia en cada punto i para el día d pero no distingue a que horas de inicio y fin corresponden.

INCERTIDUMBRE EN LA ESTIMACIÓN DE LAS INCORPORACIONES

Si conociésemos la concentración instantánea $C(t_{id})$ a lo a lo largo de la jornada d en el punto de muestreo i y tuviésemos una indicación exacta el periodo en los que el trabajador permanece en dicho punto podríamos calcular la actividad inhalada (obviamente asumiendo que las condiciones del punto de muestreo son las mismas a las que el trabajador está sometido) aplicando la ecuación siguiente:

$$I_d = R \sum_{i=1}^n C(t_{id}) \Delta t_{id} \quad (4)$$

Podemos considerar que un trabajador habitualmente realiza su trabajo en un área concreta permaneciendo en cada punto de muestreo una fracción f_{ij} de la jornada. Si suponemos que la duración total de la jornada es T , y es idéntica todos los días (habitualmente 8 h), la ecuación anterior queda con la siguiente expresión (usamos el símbolo de aproximación en lugar del de igualdad pues el trabajador registra el tiempo total que permanece en cada punto y no el periodo concreto)

$$I_d \approx RT \sum_{i=1}^n C(t_{id}) f_{id} \quad (5)$$

La mayor parte de las asignaciones de dosis se realizan a no más de 4 puntos de muestreo, no superando 4 registros a día.

Nos planteamos valorar la incertidumbre que se comete en la asignación de las incorporaciones (y por consiguiente a las dosis) diarias al usar las concentraciones medias a lo largo del turno en vez de las instantáneas, para ello usaremos la información proporcionada por los tomamuestras de medida continua disponibles en algunas áreas.

Un tomamuestras de medida continua o ABPM realiza una medida instantánea (realmente la mide cada minuto, que en la practica se puede considerar que es una medición instantánea) de las concentración del punto en el que está ubicado. Los ABPM no están exactamente en los mismos puntos de muestreo que los SAS, por lo que no miden las mismas concentraciones no obstante se asume que son representativos de la concentraciones del área y de la variación temporal de la concentración, que se produce a lo largo del tiempo. Se ha analizado la variabilidad del ABPM situado en prensado por ser esta una de las áreas en las que las concentraciones medias diarias son más altas y se produce una mayor variabilidad. Dado que los trabajadores normalmente permanecen en un punto más de 30 minutos se ha considerado

conveniente agrupar los datos por minuto (dados por las ABPM) en intervalos de 30 minutos. En la figura que sigue se muestran las concentraciones obtenidas y su frecuencia.

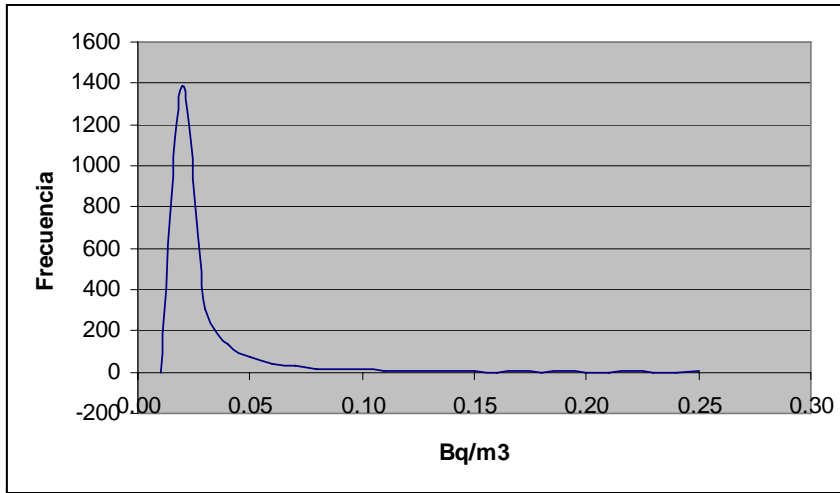


Figura 2.- Concentraciones obtenidas y frecuencia (datos de dos meses tomados un ABPM situado en el área de prensado)

Se ha analizado los datos de un periodo de dos meses comprobándose (fig. 2) que las concentraciones de 30 minutos en un punto de muestreo i , c_i , pueden aproximarse a una distribución log-normal $LN(\mu_i, \sigma_i)$.

$$LN(\mu_i, \sigma_i) \equiv \begin{cases} f_i(c) = \frac{1}{\sigma_i c \sqrt{2\pi}} \text{Exp} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\ln c - \mu_i}{\sigma_i} \right)^2 \right] & \text{si } c > 0, \\ f_i(c) = 0, & \text{en otro caso.} \end{cases} \quad (6)$$

donde:

$$\hat{\mu}_i = \frac{1}{N} \sum_i \ln c_i \quad \hat{\sigma}_i^2 = \frac{1}{N} \sum_i (\ln c_i - \hat{\mu}_i)^2,$$

N : nº de medidas realizadas

Por tanto suponemos que en la ecuación (5) $C(t_i)$ sigue una distribución $LN(\mu_i, \sigma_i)$ en la que μ y σ_i son conocidos. Por otro lado, suponemos que la fracción de tiempo que el trabajador permanece junto a cada punto de muestreo no difiere sustancialmente unos días con otros, por ello reescribimos la ec. (5) usando los tiempos medios de permanencia, que le llamamos w_i y llamando $k = R T$.

$$I_d \approx k w_i \sum_{i=1}^n C(t_{id}) \quad (7)$$

Dado que hemos supuesto que $C(t_i)$ sigue una distribución $LN(\mu_i, \sigma_i)$ la ec. (7) corresponderá a

una suma de lognormales. La suma de Log-normales puede aproximarse [Lopez F. y Sánchez 2005] por

$$u_1(t) = k \left(\sum_i w_i e^{\mu_i + \sigma_i^2/2} \right) = k \left(\sum_i w_i \mu_{I,i} \right) \quad (8)$$

$$u_2 = u_1^2 + k^2 \sum_i w_i^2 e^{2\mu_i + \sigma_i^2} (e^{\sigma_i^2} - 1) = u_1(t)^2 + k^2 \sum_i w_i^2 \sigma_{I,i}^2 \quad (9)$$

Entonces, tenemos que la aproximación lognormal resultante tendrá por media y varianza

$$\mu = 2 \ln u_1 - \frac{1}{2} \ln u_2, \quad (10)$$

$$\sigma^2 = \ln u_2 - 2 \ln u_1$$

La distribución acumulada de probabilidad de I será

$$P[y(t) \leq y_0] \approx \Phi \left[\frac{\ln y_0 - \mu(t)}{\sigma(t)} \right], \quad (11)$$

donde Φ es la distribución (acumulada). Entonces obtendremos una bandas de probabilidad de $y(t)$ fijado la probabilidad γ ,

$$P[y(t) \leq u_U(t)] = \frac{1+\gamma}{2}, \quad (12)$$

$$P[y(t) \leq u_L(t)] = \frac{1-\gamma}{2}$$

donde $u_U(t) \approx \exp(\mu(t) + z\sigma(t))$, con z correspondiente a $100(\gamma+1)/2$ -cuantil de la distribución normal estándar, por tanto

$$P[u_1(t) - b(t) \leq y(t) \leq u_1(t) + b(t)] = \gamma, \quad (13)$$

donde,

$$b(t) \approx z\sqrt{u_2(t) - u_1(t)^2}$$

y de aquí

$$y(t) \approx u_1(t) \pm z\sqrt{u_2(t) - u_1(t)^2}. \quad (14)$$

En nuestro caso $y(t)$ corresponde a la incorporación diaria, por tanto la incorporación media diaria y su correspondiente incertidumbre está dada por

$$I_d \approx k \left(\sum_i w_i e^{\mu_i + \sigma_i^2/2} \right) \pm$$

$$\pm zk \sqrt{\sum_i w_i^2 e^{2\mu_i + \sigma_i^2} (e^{\sigma_i^2} - 1)} \quad (15)$$

$$= k \left(\sum_i w_i \mu_{I,i} \right) \pm zk \sqrt{\sum_i w_i^2 \sigma_{I,i}^2}$$

El primer término es equivalente al que mediría un tomamuestras fijo situado en el mismo punto y el segundo corresponde a la incertidumbre que se comete por usar las concentraciones medias en vez de las instantáneas. Con los datos analizados el término correspondiente a la incertidumbre es pequeño. La valoración numérica hay que realizarla a partir de los datos concretos de w_i y C_i aplicados a cada trabajador. También se puede hacer una asignación conjunta de la incertidumbre para grupos de trabajadores expuesto a condiciones similares, por ejemplo: aquellos que realicen el mismo tipo de trabajo.

CONCLUSIÓN

La ecuación deducida nos permite determinar la incertidumbre que se comete en la asignación de las incorporaciones diarias, como consecuencia de utilizar las concentraciones medias diarias (dadas por los tomamuestras fijos) en vez de usar las concentraciones continuas, medidas con los ABPM. En cualquier caso dado que se trata de distribuciones lognormales fuertemente asimétricas la probabilidad de que un trabajador se le asigne una incorporación que subestime la

realmente incorporada es muy baja y en un periodo largo tiende a compensarse con aquellos casos en los que el valor medio sobreestime la cantidad realmente incorporada.

Este estudio junto con el presentado en la 29 reunión de la SNE [Sánchez y Pérez F, 2003] permiten concluir que podría simplificarse el sistema de asignación de dosis agrupando conjunto de trabajadores que realicen el mismo tipo de actividad (por ejemplo: Prensadores, rectificadores, etc.) y asignando tiempos medios de permanencia.

REFERENCIAS

Sánchez G. y Perez F, A. Incertidumbres en la estimación de dosis a trabajadores expuestos a la inhalación de aerosoles. 29 Reunión anual de la SNE. Zaragoza 2003

López-Fidalgo J. y Sánchez G. Statistical Criteria To Establish Bioassay Programs, Health Phys. (En prensa).