

Nuevo “CALCULADOR” para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos. Aplicación de la Norma UNE-EN 689

José Luis Sanz Romera y **José María Rojo Aparicio**

Centro Nacional de Verificación de Maquinaria. INSST

Nuria Jiménez Simón

Centro Nacional de Condiciones de Trabajo. INSST

María Carballo Menéndez

Instituto Nacional de Silicosis

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST) ha desarrollado una nueva herramienta de Prevención de Riesgos Laborales, el “CALCULADOR: Agentes químicos. Evaluación de la exposición (UNE-EN 689)”, que permite evaluar la exposición de los trabajadores y trabajadoras debida a la inhalación de agentes químicos según los criterios y requisitos establecidos en la Norma UNE-EN 689:2019. Exposición en el lugar de trabajo. Mediciones de la exposición por inhalación de agentes químicos. Estrategia para verificar la conformidad con los valores límite de exposición profesional. Dada la trascendencia de esta norma y su aceptación por la mayoría de los países europeos, el INSST ha desarrollado y puesto a disposición una versión del “Calculador” también en inglés.

En este artículo, se comenta y analiza este “CALCULADOR”, disponible en sus dos versiones en la página web del INSST¹, con el objeto de facilitar la comprensión y, por tanto, el uso del mismo.

¹ <https://herramientasprl.insst.es/>

INTRODUCCIÓN

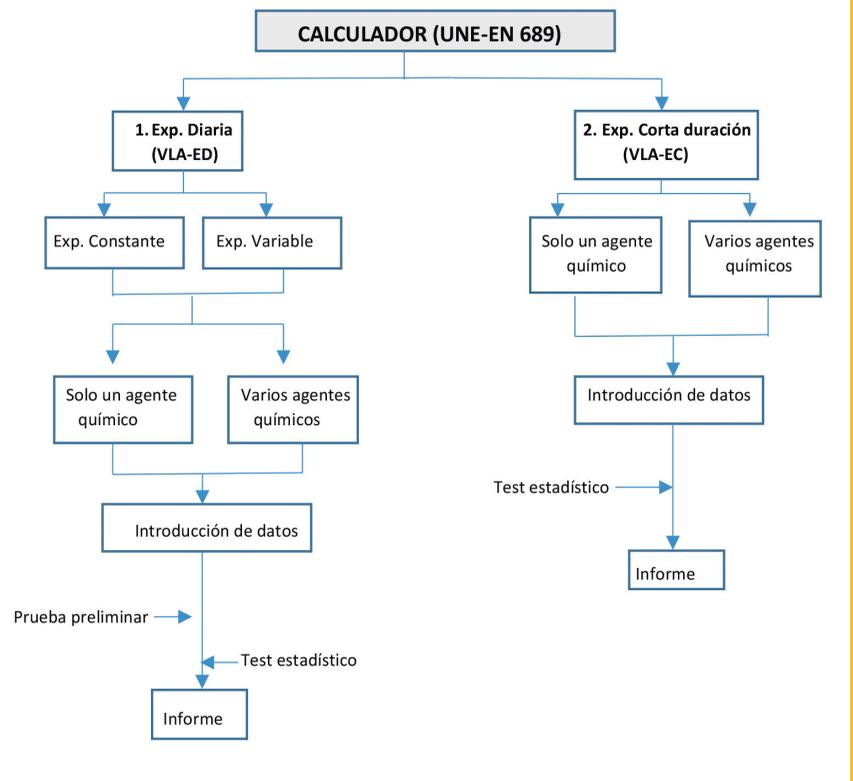
Este Calculador, desarrollado por el INSST, constituye una herramienta que permite verificar la conformidad de la exposición de los trabajadores debida a la inhalación de agentes químicos, respecto a los valores límite de exposición profesional establecidos (VLA), utilizando como documento de referencia la Norma UNE-EN 689:2019.

El Calculador incluye en su funcionamiento la mayoría de los requisitos establecidos en la Norma UNE-EN 689:2019, tanto en lo referente a la estrategia a desarrollar para la realización de una toma de muestra representativa, como en lo relativo a las condiciones que debe cumplir la exposición para ser considerada como CONFORME con el valor límite establecido (VLA). En este sentido, cualquier actuación realizada por el técnico evaluador no conforme con los requisitos normativos establecidos para la estrategia de muestreo es identificada por el Calculador, mostrando el aviso y explicación correspondiente, e impidiendo continuar la evaluación hasta la subsanación y adecuación de la actuación a lo establecido en la norma.

La organización y las posibilidades del Calculador se pueden visualizar en la figura 1.

El Calculador evalúa tanto las exposiciones diarias de los trabajadores (VLA-ED) como las exposiciones de corta duración (VLA-EC). Así mismo, permite evaluar la exposición a un único agente químico o considerar los efectos aditivos y evaluar la exposición simultánea a varios agentes químicos. Seleccionadas las opciones adecuadas, se introducen los datos correspondientes a los resultados obtenidos en las mediciones de la exposición y se verifica la conformidad de la exposición con el VLA mediante la aplicación de la Prueba preliminar y del Test

■ Figura 1 ■ Organización del Calculador



estadístico establecidos en la Norma UNE-EN 689:2019. Finalmente, se obtiene el informe correspondiente.

CONTENIDO Y FUNCIONAMIENTO

El apartado "Entrada de datos" constituye la parte principal del calculador. Posibilita la entrada de los datos obtenidos mediante el procedimiento de medida, el análisis de los mismos y la emisión del informe. El proceso hasta la conclusión y obtención del informe se realiza en diferentes etapas:

- 1. TIPO DE EXPOSICIÓN: Diaria o Corta duración**
- 2. EXPOSICIONES A UNO O VARIOS AGENTES QUÍMICOS**

3. DATOS. MEDICIONES DE LA EXPOSICIÓN

4. ANÁLISIS DE LOS DATOS

4.1. Prueba preliminar

4.2. Test estadístico

5. INFORME

1. Tipo de exposición

El Calculador permite, seleccionando la opción correspondiente, evaluar la exposición diaria (ED) y la exposición de corta duración (EC) del trabajador o grupo de trabajadores de exposición similar (GES) debido a la inhalación de agentes químicos (ver figura 2).

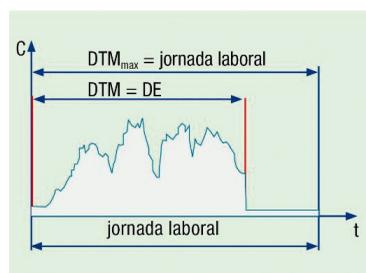
Figura 2 Selección del tipo de exposición



Figura 3 Selección de la evolución de la exposición



Figura 4 Exposición diaria variable



Un GES, de acuerdo con la Norma 689:2019, está constituido por el conjunto de trabajadores/as que, en virtud de la similitud y frecuencia de las tareas que realizan, de los materiales con los que trabajan y de la manera con la que realizan las tareas, están expuestos a los mismos agentes químicos y en las mismas condiciones de exposición.

En las evaluaciones de las exposiciones diarias, el Calculador, introducidos los resultados de las concentraciones ambientales del agente químico en las muestras, calculará la exposición diaria (ED), utilizando este indicador para

determinar la conformidad de la exposición con el VLA-ED.

Exposición diaria (ED): Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador/a, medida o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.

En las evaluaciones de exposiciones de corta duración, el Calculador calculará la exposición de corta duración (EC), indicador que utilizará para determinar la conformidad de la exposición con el VLA-EC.

Exposición de corta duración (EC): Es la concentración media del agente químico en la zona de respiración del trabajador/a medida o calculada para cualquier período de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral. Lo habitual es determinar las EC de interés, es decir, las del periodo o periodos de máxima exposición, tomando muestras de 15 minutos de duración en cada uno de ellos.

Respecto a las evaluaciones de exposiciones diarias (VLA-ED), el calculador diferencia dos tipos de situaciones en función de la evolución del contaminante a lo largo de la jornada de trabajo o duración de la exposición: Variable y Constante, apareciendo, por defecto, seleccionada la opción "Variable" (ver figura 3).

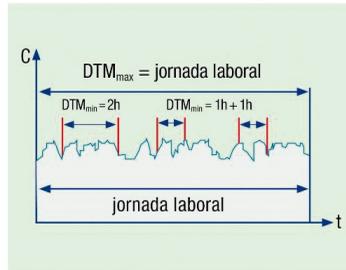
- **Exposición variable:** La exposición se puede considerar "variable" cuando los factores que influyen en la exposición (localización, tarea, intensidad de la emisión, ritmo de trabajo, ventilación, etc.) varían considerablemente durante la jornada de trabajo (ver figura 4).

Para este tipo de exposiciones, el Calculador introduce como condición para obtener una medición fiable y representativa de la exposición que la duración total del muestreo (DTM) tiene que ser superior a 2 horas y nunca inferior al 80% del tiempo de exposición durante la jornada de trabajo (DE). Para exposiciones durante la jornada laboral inferiores a 2 horas, la duración total del muestreo tiene que ser igual al tiempo de exposición.

La introducción de esta condición (DTM \geq 80% DE) es la única licencia introducida en el Calculador respecto a la Norma UNE-EN 689:2019 y responde a la necesidad de interpretar numéricamente la condición "la duración total del muestreo (DTM) será lo más próxima posible a la duración de la exposición (DE)", introducida por la norma para obtener mediciones fiables y representativas para este tipo de exposiciones.

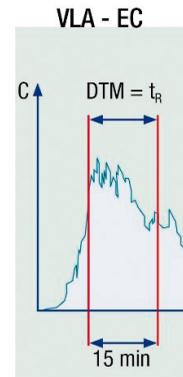
- **Exposición constante:** La exposición se puede considerar "constante" cuando los factores que influyen en la exposición (localización, tarea,

Figura 5 Exposición diaria constante



intensidad de la emisión, ritmo de trabajo, ventilación, etc.) no varían considerablemente a lo largo de la jornada laboral. Para estos casos, el Calculador introduce como condición que la duración del muestreo sea igual o superior a 2 horas, excepto para exposiciones inferiores a 2 horas durante la jornada laboral, en cuyo caso la duración del muestreo será igual al tiempo de exposición (ver figura 5).

Figura 6 Exposición de corta duración



Respecto a las evaluaciones de exposiciones de corta duración (VLA-EC), cabe indicar que la Norma impone como condición para la validez y representatividad de las mediciones que la duración del muestreo sea de 15 minutos, seleccionados en los momentos de la jornada en que se espera una mayor exposición (ver figura 6).

Figura 7 Exposición a varios agentes químicos



La muestra o el conjunto de muestras tomadas a lo largo de la jornada laboral para evaluar la exposición del trabajador/a deben cumplir los requisitos relativos a la duración del muestreo establecidos para cada tipo de exposición (exposiciones de corta duración; exposiciones diarias variables; exposiciones diarias constantes), para así garantizar que los resultados de la medición son representativos de la exposición. En caso de no cumplir estos requisitos, el Calculador informará del error correspondiente, impidiendo avanzar con el uso del mismo hasta la subsanación del error.

también exposiciones simultáneas a varios agentes químicos. Para evaluar exposiciones simultáneas se utiliza la opción "añadir agente químico" y se incorporan los diferentes agentes químicos cuya exposición se considere necesario evaluar de forma conjunta debido a sus efectos aditivos en la salud (ver figura 7).

En las evaluaciones simultáneas a varios agentes químicos, el Calculador determinará, a partir de los datos introducidos, los índices de exposición (I_i) para cada agente químico y el índice de exposición total (IT), suma de los índices parciales obtenidos para cada agente químico. Para estas situaciones, la conformidad de la exposición se determina comparando los resultados obtenidos para los índices totales (IT) con el valor 1, que adquiere el mismo significado que tiene el VLA para la evaluación de la exposición a agentes químicos aislados:

$$I_i = \frac{E_i}{VLA_i}$$

$$I_T = \sum I_i$$

En todo caso, para el agente o para cada uno de los agentes químicos considerados, será necesario introducir, además del nombre, el correspondiente valor límite de exposición (VLA), el tiempo o duración de la exposición (DE) y el límite de cuantificación del procedimiento de medida (LOQ).

- **Valor límite de exposición (VLA).** Se introduce para cada uno de los agentes químicos su valor límite de exposición (VLA), seleccionando, mediante el desplegable, las unidades que correspondan con las de los datos de la exposición. Por defecto, están seleccionadas las unidades mg/m^3 ,

2. Exposiciones a uno o varios agentes químicos

El Calculador permite evaluar la exposición a un único agente químico y

Figura 8 Exposición a varios agentes químicos

Agente 1 (VLA-ED Tiempo de exposición 450 min)

| Muestra/s | Tiempo de muestreo | Concentración |
|--------------------|--------------------|-----------------------|
| AZIDA-PARTÍCULAS-3 | 390 min | 245 mg/m ³ |

Tiempo total de muestreo: 390 min

Añadir muestra

pero también es posible seleccionar fibras/cc y ppm.

- **Tiempo de exposición (DE).** En las evaluaciones de exposiciones de corta duración (VLA-EC) el tiempo de exposición es invariable y está fijado en 15 minutos. En las evaluaciones de exposiciones diarias (VLA-ED), el usuario tiene que introducir el tiempo que considera que el trabajador o el GES está expuesto al agente o a cada uno de los agentes químicos durante la jornada laboral. Este tiempo de exposición puede coincidir con la duración de la jornada laboral estándar (480 min.) o ser distinto.
- **Límite de cuantificación (LOQ).** Este campo es opcional y solo requiere ser cumplimentado cuando se obtienen resultados para la exposición inferiores al LOQ. El límite de cuantificación del procedimiento de medida (LOQ) debe expresarse en unidades de concentración ambiental, por eso debe dividirse el valor del Loq dado por el laboratorio ($\mu\text{g}/\text{captador}$) entre el volumen de aire muestreado V (litros/captador):

$$\text{LOQ} = \frac{\text{Loq}}{V}$$

En este punto, conviene recordar que el procedimiento de medida, además de proporcionar unos resultados fiables y representativos de la exposición del trabajador, debe cumplir las exigencias de la Norma UNE-EN 482:2021. Requisitos generales

relativos al funcionamiento de los procedimientos de medida de los agentes químicos, que establece que el procedimiento de medida tiene que poder determinar exposiciones a concentraciones del agente químico iguales o inferiores al 10% de la concentración del VLA-ED correspondiente. Para evaluaciones de exposiciones de corta duración, este porcentaje se eleva al 50%. Este requisito implica que el límite de cuantificación del procedimiento de medida (LOQ) tiene que ser igual o inferior a 0,1 VLA-ED ($\leq 0,5$ VLA-EC).

Conocido el límite de cuantificación de la técnica de análisis (Loq) proporcionado por el laboratorio, el técnico evaluador debe diseñar una estrategia de muestreo de forma que, interviniendo en el caudal de muestreo o, principalmente, en la duración de la toma de muestra, proporcione un volumen de aire muestreado suficiente para cumplir el requisito normativo.

En algunos casos y de forma excepcional, algunas evaluaciones pueden requerir una estrategia de muestreo que implique la utilización de distintos volúmenes de aire (V) (ejemplo: evaluaciones de exposiciones que a lo largo de la jornada laboral se producen en diferentes escenarios y se quiere conocer la contribución de cada uno de ellos para priorizar las posibles medidas de control). Para estos casos excepcionales, el Calculador utiliza el mayor de los volúmenes de aire

empleados en el muestreo para calcular el LOQ.

3. Datos. Mediciones de la exposición

La evaluación de la exposición requiere introducir los resultados de la concentración en el ambiente de cada uno de los agentes químicos a los que está expuesto el trabajador o el GES. Estos datos se obtienen a partir de los resultados suministrados por el laboratorio y el volumen de aire muestreado.

Los resultados inferiores al LOQ no pueden ignorarse o ser reemplazados por un valor fijo como LOQ/2, ya que esto conlleva una sobreestimación de la media (MG o MA) y una subestimación de la desviación estándar (DS o DSG). Por ello, los valores inferiores al LOQ son identificados por el Calculador de cara a las consideraciones especiales que debe tener en cuenta la aplicación del Test estadístico para evaluar la conformidad de este tipo de situaciones.

Generalmente, en las evaluaciones de exposiciones de corta duración (VLA-EC), el procedimiento de medida requiere una única muestra para completar el tiempo de muestreo (15 minutos) y obtener el indicador de corta exposición (EC) necesario para verificar la conformidad de la exposición con el VLA-EC. Sin embargo, en las evaluaciones de exposiciones diarias, a veces es necesario tomar más de una muestra durante la jornada laboral para poder completar el tiempo mínimo de muestreo necesario para obtener el indicador (ED) fiable y

representativo de la exposición diaria. En cualquier caso, el Calculador posibilita, para cada agente químico, introducir cuantas muestras hayan sido necesarias activando la opción "Añadir muestra" (ver figura 8).

Finalmente, el Calculador proporciona información acerca del tiempo total muestreado, que corresponde al tiempo empleado en la obtención de la muestra o conjunto de muestras realizadas. Este parámetro es el utilizado por el Calculador para verificar si la estrategia de muestreo cumple los requisitos exigidos en cada caso para la obtención de mediciones fiables y representativas de la exposición del trabajador.

4. Análisis de los datos

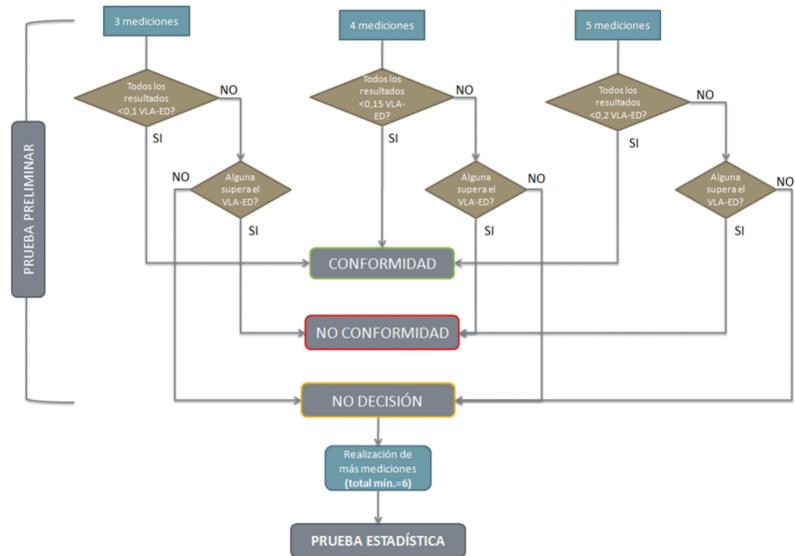
El Calculador analiza los datos introducidos y verifica la conformidad de la exposición con los VLA mediante la aplicación de los dos procedimientos establecidos en la Norma UNE-EN 689:2019: 1. Prueba preliminar y 2. Test estadístico.

4.1. Prueba preliminar

Esta prueba solo se puede aplicar a evaluaciones de exposiciones diarias (VLA-ED). La prueba requiere introducir tres, cuatro o cinco mediciones de la exposición diaria (ED) del trabajador o del GES. El criterio empleado por el Calculador para la toma de decisiones acerca de la conformidad de la exposición con el valor límite se indica en la figura 9.

La prueba preliminar no siempre es concluyente acerca de la conformidad de la exposición con el VLA. En estos casos, denominados "NO DECISIÓN", el Calculador indicará el número de mediciones adicionales que se deben realizar para continuar la prueba preliminar o completar el mínimo de seis necesarias para realizar el Test estadístico.

■ Figura 9 ■ Esquema de la toma de decisión del Calculador en la Prueba preliminar



■ Figura 10 ■ Casos de no decisión

| RESULTADO |
|---|
| <p>Nivel de exposición NO DECISION</p> <p>No se puede tomar una decisión acerca de la conformidad de la exposición con el VLA-ED, según las condiciones de conformidad establecidas en la PRUEBA PRELIMINAR para la evaluación de la exposición a agentes químicos en la Norma UNE-EN 689:2019.</p> <p>Es necesario completar con 3 mediciones adicionales hasta un total de 6 jornadas y aplicar el test estadístico.</p> |

Cuando la prueba preliminar es concluyente: en los casos de CONFORMIDAD, el calculador da una sugerencia para la reevaluación periódica de la exposición; en los casos de NO CONFORMIDAD, el Calculador invita a establecer medidas de control de la exposición.

4.2. Test estadístico

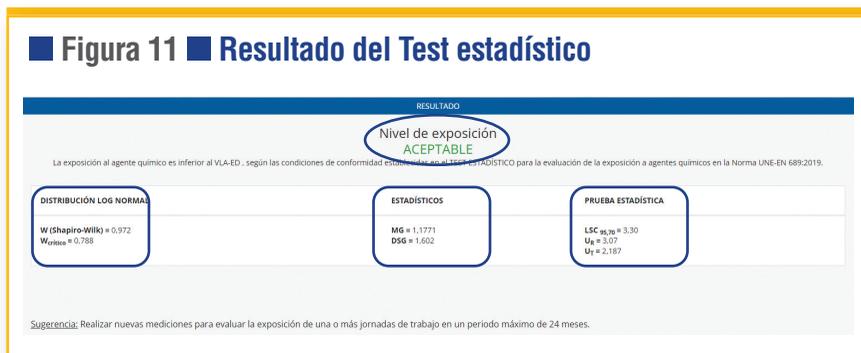
Esta prueba se aplica a la evaluación de exposiciones diarias (VLA-ED) y a la evaluación de exposiciones de corta duración (VLA-EC). La aplicación del Test estadístico requiere un mínimo de seis resultados de la exposición (ED o EC) y siempre es concluyente, es decir,

siempre da como resultado que el nivel de exposición es "ACEPTABLE" (CONFORMIDAD) o que el nivel de exposición es "NO ACEPTABLE" (NO CONFORMIDAD).

"ACEPTABLE": La exposición es inferior al VLA de acuerdo con las condiciones de conformidad establecidas en el Test estadístico para la evaluación de la exposición a agentes químicos en la Norma UNE-EN 689:2019.

"NO ACEPTABLE": La exposición es superior al VLA de acuerdo con

Figura 11 Resultado del Test estadístico



las condiciones de conformidad establecidas en el Test estadístico para la evaluación de la exposición a agentes químicos en la Norma UNE-EN 689:2019.

Para concluir acerca de la exposición, el Calculador analiza y determina tres aspectos básicos:

1. **El tipo de Distribución.**
2. **Los Estadísticos.**
3. **Los Indicadores de Conformidad.**

1. Tipo de Distribución

El Test estadístico solo se puede aplicar a resultados que se ajustan a una distribución logarítmica normal o a una distribución normal. El Calculador aplica la prueba estadística Shapiro-Wilk para comprobar que los resultados se ajustan a una distribución normal; esto proporciona un indicador de probabilidad de ajuste W_1 . La prueba se repite para los logaritmos neperianos de los resultados y se obtiene un indicador W_2 . Si $W_2 > W_1$, los resultados se ajustan mejor a una distribución logarítmica normal que a una distribución normal. El calculador compara los resultados obtenidos para W_1 y W_2 para determinar el tipo de distribución que se tiene que utilizar en la aplicación del Test estadístico.

DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL

W (Shapiro-Wilk) = 0,972
 $W_{crítico}$ = 0,788

En casos excepcionales y poco frecuentes, puede ocurrir que los dos indicadores, W_1 y W_2 , sean inferiores al valor crítico ($W_{crítico}$) del estadístico de contraste de Saphiro-Wilk (establecido para un grado de significación $\alpha=0,05$ y variable en función del número de resultados). En estos casos, los resultados no se ajustan ni a una distribución normal ni a una distribución logarítmica normal, y el Calculador informa que la exposición es **NO EVALUABLE**.

2. Estadísticos:

ESTADÍSTICOS

MG = 1,1771
 DSG = 1,602

Los estadísticos utilizados en el test son diferentes dependiendo del tipo de distribución que mejor se ajuste a los resultados de las mediciones. El Calculador obtiene estos estadísticos a partir de los resultados de la exposición (mínimo seis) utilizando las **ecuaciones matemáticas** correspondientes. Para el caso de una distribución normal, los estadísticos de referencia son la media aritmética (MA) y la desviación estándar (DS). Si la distribución es logarítmica normal, los estadísticos son la media geométrica (MG) y la desviación estándar geométrica (DSG).

Resultados inferiores al límite de cuantificación del procedimiento de medida (LOQ): la aplicación del Test estadístico para evaluar la conformidad de la exposición cuando hay

resultados inferiores al LOQ constituyen un caso especial. Los estadísticos utilizados no se calculan matemáticamente, sino a partir de la recta de la regresión de los resultados superiores al LOQ (o logaritmo neperiano de los resultados para distribuciones logarítmica normal) sobre sus correspondientes valores de z asignados. Dependiendo del tipo de distribución, la ordenada en el origen de la recta de regresión proporciona la media aritmética (MA) o el logaritmo neperiano de la media geométrica ($Ln MG$), y la pendiente de la recta proporciona la desviación estándar (DS) o el logaritmo neperiano de la desviación estándar geométrica ($Ln DSG$).

En la figura 12, ejemplo de una distribución logaritmo normal, la ordenada en el origen de la recta vale 0,332 y representa el $Ln MG$; la pendiente de la recta vale 0,59 y representa el $Ln DSG$.

3. Los Indicadores de la Conformidad

PRUEBA ESTADÍSTICA

$LSC_{95,70}$ = 3,30
 U_R = 3,07
 U_T = 2,187

El Test estadístico calcula, a partir de los estadísticos correspondientes (MA , MG ; DS , DSG), dos indicadores para verificar la conformidad de la exposición con el VLA: El $LSC_{95,70}$ y el U_R .

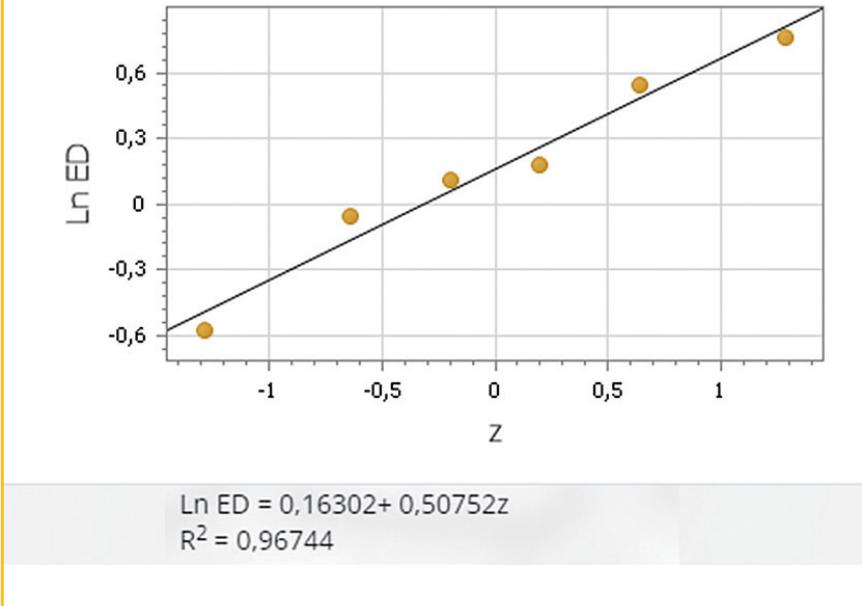
El **Indicador $LSC_{95,70}$** representa el límite superior para un nivel de confianza del 70% del percentil 95 de la distribución. Cuando el valor obtenido para este indicador es inferior al VLA, esto significa que, con un nivel de confianza del 70%, la probabilidad de que la exposición supere el VLA es inferior al 5%, y la

exposición se considera ACEPTABLE. En los demás casos, cuando el $LSC_{95,70}$ es igual o superior al VLA, la exposición es NO ACEPTABLE.

$LSC_{95,70} < VLA$ "ACEPTABLE"
 $LSC_{95,70} \geq VLA$ "NO ACEPTABLE"

El Indicador U_r representa la distancia respecto al valor medio de la distribución a la que está situado el VLA. El parámetro UT representa la distancia respecto al valor medio a la que está situado el $LSC_{95,70}$ sus valores están establecidos y dependen del número de resultados (ver tabla

■ Figura 12 ■ Recta de regresión



■ Tabla 1 ■ Valores de UT para el límite superior del intervalo, para un nivel de confianza del 70%, y el percentil 95

| nº result. | U_r |
|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
| 2 | 4,216 | 17 | 1,895 | 32 | 1,814 | 47 | 1,780 |
| 3 | 2,809 | 18 | 1,886 | 33 | 1,811 | 48 | 1,778 |
| 4 | 2,453 | 19 | 1,878 | 34 | 1,808 | 49 | 1,776 |
| 5 | 2,286 | 20 | 1,870 | 35 | 1,805 | 50 | 1,775 |
| 6 | 2,187 | 21 | 1,863 | 36 | 1,802 | 51 | 1,773 |
| 7 | 2,120 | 22 | 1,857 | 37 | 1,800 | 52 | 1,772 |
| 8 | 2,072 | 23 | 1,851 | 38 | 1,797 | 53 | 1,771 |
| 9 | 2,035 | 24 | 1,846 | 39 | 1,795 | 54 | 1,769 |
| 10 | 2,005 | 25 | 1,841 | 40 | 1,793 | 55 | 1,768 |
| 11 | 1,981 | 26 | 1,836 | 41 | 1,791 | 56 | 1,767 |
| 12 | 1,961 | 27 | 1,832 | 42 | 1,789 | 57 | 1,765 |
| 13 | 1,944 | 28 | 1,828 | 43 | 1,787 | 58 | 1,764 |
| 14 | 1,929 | 29 | 1,824 | 44 | 1,785 | 59 | 1,763 |
| 15 | 1,917 | 30 | 1,820 | 45 | 1,783 | 60 | 1,762 |
| 16 | 1,905 | 31 | 1,817 | 46 | 1,781 | nº > 60 | 1,750 |

1). Cuando el valor obtenido para U_R es superior al valor crítico U_T , la exposición es "ACEPTABLE". En los demás casos, cuando U_R es igual o inferior al valor crítico U_T , la exposición es "NO ACEPTABLE".

| | |
|----------------|----------------|
| $U_R > U_T$ | "ACEPTABLE" |
| $U_R \leq U_T$ | "NO ACEPTABLE" |

Los dos indicadores utilizados por el Test estadístico conducen siempre a una misma decisión acerca de la conformidad de la exposición con el VLA.

Finalmente, en los casos en los que el Test estadístico concluye que la exposición es "ACEPTABLE", el Calculador sugiere un periodo máximo de tiempo para realizar nuevas mediciones con el objeto de reevaluar la exposición del trabajador o del GES. La periodicidad sugerida es el resultado mayor de los obtenidos por los dos métodos de cálculo establecidos en la Norma (Anexo I). El técnico/a siempre puede decidir utilizar un intervalo de tiempo inferior al sugerido.

Prueba preliminar:

| DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL | ESTADÍSTICOS | PRUEBA ESTADÍSTICA |
|--|----------------------------|--|
| W (Shapiro-Wilk) = 0,972 Wcritico = 0,788 | MG = 1,1771 DSG = 1,602 | LSC _{95,7%} = 3,30 U _g = 3,07 U _T = 2,187 |

Sugerencia: Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 24 meses.

En los casos en los que el Test estadístico concluye que la exposición es "NO ACEPTABLE", el Calculador requiere adoptar medidas de control de la exposición.

5. Informe

El Calculador, ejecutada la opción "calcular" o "guardar y calcular", analiza los datos introducidos y proporciona el informe de la evaluación de la exposición. El informe está estructurado en cuatro partes:

1. **Datos identificativos de la evaluación de la exposición.**
2. **Nivel de exposición.**
3. **Gráficos.**
4. **Sumario de datos.**

1. Datos identificativos de la evaluación de la exposición

El Calculador permite obtener en el informe datos relativos a la empresa, la actividad, la localización, el trabajador, etc., lo que posibilita identificar el puesto de trabajo evaluado. Para obtener esta información es necesario cumplimentar los diferentes campos propuestos para esta sección en la etapa inicial del Calculador. En caso de no cumplimentar esta sección, dado que es optativa, en el informe aparecerán los campos vacíos.

2. Nivel de exposición

La segunda sección del informe está reservada al resultado para el nivel de exposición obtenido tras la aplicación del procedimiento correspondiente (Prueba preliminar o test estadístico). Esta información viene acompañada de otras de interés y diferentes según la prueba realizada.

Exposición a agentes químicos. Comparación ED con VLA-ED

Resultado: Atrás Nuevo cálculo Imprimir

Datos identificativos de la evaluación de la exposición:
 Empresa y dirección: Mármoles y granitos San Antonio
 Actividad y/o tarea: Marmolería
 Localización: Asturias
 Trabajador/GES: GES : terminaciones
 Técnico responsable: María Carballo
 Fecha de inicio: 09/02/2021 0:00:00 Fecha de finalización: 11/02/2021 0:00:00
 Otros:

RESULTADO

Nivel de exposición
NO DECISION

No se puede tomar una decisión acerca de la conformidad de la exposición con el VLA-ED , según las condiciones de conformidad establecidas en la PRUEBA PREELIMINAR para la evaluación de la exposición a agentes químicos en la Norma UNE-EN 689:2019.

Es necesario completar con 3 mediciones adicionales hasta un total de 6 jornadas y aplicar el test estadístico.

Código de recuperación de datos: **8235945**

Test estadístico:

RESULTADO

Nivel de exposición

ACEPTABLE

La exposición al agente químico es inferior al VLA-ED, según las condiciones de conformidad establecidas en el TEST ESTADÍSTICO para la evaluación de la exposición a agentes químicos en la Norma UNE-EN 689:2019.

| DISTRIBUCIÓN NORMAL | ESTADÍSTICOS | PRUEBA ESTADÍSTICA |
|---|---|--|
| W (Shapiro-Wilk) = 0,961 W_{crítico} = 0,788 | MA = 0,0193 DS = 0,007 | LSC_{95,70} = 0,04 U_R = 4,10 U_T = 2,187 |

Sugerencia: Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 24 meses.

Código de recuperación de datos: **3698837**

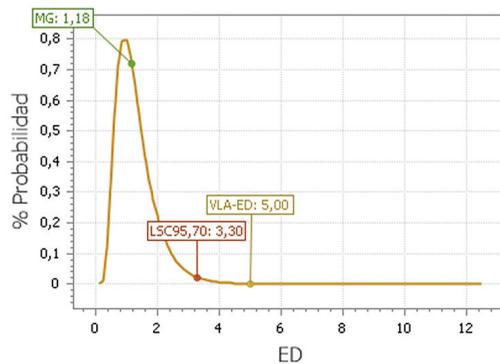
En ambos casos, independientemente del procedimiento de evaluación ejecutado, si se ha seleccionado la opción **“Guardar y calcular”**, el informe proporciona un **código de recuperación de datos**. La introducción de este número o código permite recuperar todos los datos concernientes a la evaluación, y es de gran utilidad para la realización periódica de la reevaluación de la exposición.

3. Gráficos

En los casos que se ha aplicado el Test estadístico para evaluar la conformidad de la exposición, el informe viene acompañado de dos tipos de gráficos: 1. La curva de distribución de la probabilidad de la exposición ED o EC; y 2. La recta de la regresión de la exposición ED o EC sobre los valores tipificados de z (ver figuras 13 y 14).

La curva de distribución de la probabilidad de la exposición (ED o EC) se obtiene de los estadísticos (MA o MG; DS o DSG) calculados a partir de los resultados obtenidos para las exposiciones diarias o de corta duración, siendo necesario un mínimo de seis resultados. Sobre el gráfico de la curva se posicionan los valores para la tendencia central de la

■ **Figura 13** ■ Distribución de probabilidad de la exposición diaria (ED)



■ **Figura 14** ■ Recta de regresión de ED sobre z

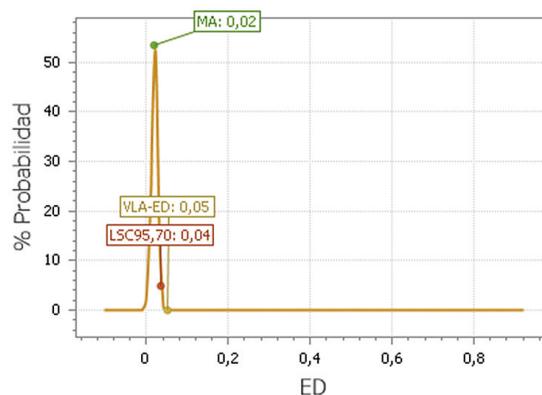


Figura 15 Sumario de datos

| Datos de partida: | | |
|---|---------------------------|------------------------|
| Jornada 1 | | |
| Agente 1 (VLAED: 5 mg/m ³ , Tiempo de exposición: 480 min) | | |
| Muestra/s | Tiempo de muestreo | Concentración |
| Muestra 1 | 410 min | 1,2 mg/m ³ |
| Tiempo total de muestreo: | Exposición Diaria ED | Índice de exposición |
| 410 min | 1,20000 mg/m ³ | 0,24000 |
| Jornada 2 | | |
| Agente 1 (VLAED: 5 mg/m ³ , Tiempo de exposición: 480 min) | | |
| Muestra/s | Tiempo de muestreo | Concentración |
| Muestra 1 | 420 min | 0,95 mg/m ³ |
| Tiempo total de muestreo: | Exposición Diaria ED | Índice de exposición |
| 420 min | 0,95000 mg/m ³ | 0,19000 |

distribución (MA o MG), para el indicador de conformidad $LSC_{95,70}$ y para el valor límite de exposición (VLA-ED o VLA-EC). Proporciona una información visual del resultado de la evaluación.

La recta de regresión de la exposición sobre los valores tipificados de z permite identificar posibles resultados anómalos o trabajadores incluidos no pertenecientes al GES. Esto queda reflejado en puntos excepcionalmente desviados de la recta y en la obtención de un mal coeficiente de correlación R_2 (inferior a 0,90). Además, la ecuación de la recta proporciona los resultados de los estadísticos. La ordenada en el origen de la recta corresponde al estadístico MA o Ln MG y la pendiente de la recta es la DS o Ln DSG, dependiendo del tipo de distribución. Estos estadísticos, obtenidos gráficamente, son los que se utilizan para evaluar la conformidad cuando se obtienen resultados inferiores al límite de cuantificación (LOQ).

4. Sumario de datos

El informe proporciona, cualquiera que haya sido la prueba para evaluar la conformidad de la exposición realizada (Prueba preliminar o Test estadístico), un sumario detallado para cada una de las jornadas y agente químico de los datos introducidos (concentración, tiempo de muestreo, etc.) y de los datos obtenidos por el Calculador (Exposición Diaria, Exposición de corta duración, Índice de exposición, tiempo total muestreado, etc.). Estos datos constituyen la base en las futuras conclusiones sobre la exposición de los trabajadores debido a la inhalación de agentes químicos (ver figura 15).

Finalmente, el informe en su conjunto, datos identificativos de la exposición, nivel de exposición, gráficos y el sumario de datos, se puede IMPRIMIR activando la opción correspondiente:

[Atrás](#) [Nuevo cálculo](#) [Imprimir](#)

EJEMPLO: EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A SÍLICE CRISTALINA RESPIRABLE EN UNA MARMOLERÍA

1. Descripción de la situación

Se trata de evaluar la exposición de dos trabajadores (Rubén y Alejandro) que realizan trabajos de pulido, canteado, acanalado, etc. de encimeras y fregaderos en la marmolería "Mármoles y granitos San Antonio" situada en Asturias. La jornada de trabajo es de 8 horas, de lunes a viernes, en horario de 8:30 a 13:30 y de 15:00 a 18:00 (ver figura 16).

2. Contaminante químico

- Polvo de sílice cristalina respirable (SCR). Cancerígeno.
- Valor Límite de exposición VLA-ED = 0,05 mg/m³.

3. Procedimiento de medida

Se utiliza como procedimiento de medida el Método de Toma de Muestra y Análisis del INSST, **MTA/MA-056/A06** "Determinación de sílice cristalina (fracción respirable) en aire – Método del filtro de PVC/espectrometría de difracción de rayos X".

3.1. Técnica Analítica

Determinación de las cantidades de sílice cristalina en el elemento de retención mediante espectrometría de difracción de rayos X (DRX).

- Límite de cuantificación (Loq): 10 µg/filtro.
- Límite de detección (Lod): 3 µg/filtro.

3.2. Estrategia de muestreo:

- *Elemento de retención:* Filtro de PVC de 37 mm de diámetro y 5 micras de tamaño de poro.
- *Captador o muestreado:* ciclón GK 2.69 fabricado por la empresa BGI.
- *Bomba de muestreo:* Bomba de bajo caudal estable hasta 5 litros/minuto.
- *Caudal de muestreo:* 4,2 litros/minuto.
- *Duración total del muestre (DTM):* 480 minutos (cumple requisitos de la Norma UNE-EN 689; la DTM ≥ 0,8 x 480 para exposiciones variables).
- *Volumen de aire de muestreo (V):* ($V = Q \times t$): 2016 litros (cumple requisitos de la Norma UNE-EN 482; el LOQ ≤ 0,1 VLA-ED).

$$LOQ = Loq / V \text{ (LOQ= 0,005 mg/m}^3\text{)}$$

■ Figura 16 ■ Trabajos de acabado en una marmolería



■ Tabla 2 ■ Concentraciones de polvo de SCR en las muestras (jornadas 1, 2 y 3)

| MUESTRA | FECHA | CONCENTRACIÓN SCR (mg/m ³) |
|-----------------------------|------------|--|
| Terminaciones 1 (Rubén) | 09/02/2021 | 0,008 |
| Terminaciones 2 (Alejandro) | 10/02/2021 | 0,015 |
| Terminaciones 3 (Rubén) | 11/02/2021 | 0,028 |

- *Número de muestras:* 1 muestra cada jornada de trabajo. Se inicia el muestreo a las 8:30 h hasta las 13:30 h que se ha detenido. Se vuelve a reiniciar con el mismo filtro a las 15:00 h para finalizar a las 18:00 h.

4. Resultados de las mediciones

Siguiendo la estrategia de muestreo establecida, se realizaron tres mediciones de la exposición a sílice cristalina respirable de los trabajadores del GES en tres jornadas de trabajo distintas. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 2.

5. Evaluación de la exposición

5.1. Prueba preliminar

Se completan las distintas pantallas del Calculador, introduciendo los datos requeridos, incluidos los resultados obtenidos en las mediciones de la exposición para las tres jornadas, y se ejecuta la prueba preliminar con la opción guardar y calcular:

Atrás Calcular sin guardar **Guardar y calcular**

Se obtiene el resultado para la evaluación de la exposición y el código que

■ **Figura 17** ■ **Resultado de la evaluación (Prueba preliminar)**

Exposición a agentes químicos. Comparación ED con VLA-ED

Resultado: Atrás Nuevo cálculo Imprimir

Datos identificativos de la evaluación de la exposición:
 Empresa y dirección: Mármoles y granitos San Antonio
 Actividad y/o tarea: Marmolería
 Localización: Asturias
 Trabajador/GES: GES : terminaciones
 Técnico responsable: María Carballo
 Fecha de inicio: 09/02/2021 0:00:00 Fecha de finalización: 11/02/2021 0:00:00
 Otros:

RESULTADO

Nivel de exposición
NO DECISION

No se puede tomar una decisión acerca de la conformidad de la exposición con el VLA-ED, según las condiciones de conformidad establecidas en la PRUEBA PRELIMINAR para la evaluación de la exposición a agentes químicos en la Norma UNE-EN 689:2019.

Es necesario completar con 3 mediciones adicionales hasta un total de 6 jornadas y aplicar el test estadístico.

Código de recuperación de datos: **8235945**

■ **Tabla 3** ■ **Concentraciones de polvo de SCR en las muestras (jornadas 4, 5 y 6)**

| MUESTRA | FECHA | CONCENTRACIÓN SCR (mg/m ³) |
|-----------------------------|------------|--|
| Terminaciones 4 (Alejandro) | 16/02/2021 | 0,022 |
| Terminaciones 5 (Rubén)) | 17/02/2021 | 0,017 |
| Terminaciones 6 (Alejandro) | 18/02/2021 | 0,026 |

permite recuperar los datos introducidos (ver figura 17).

El resultado de la evaluación es NO DECISIÓN. La Prueba preliminar no es concluyente. El Calculador indica que se deben realizar tres mediciones más hasta completar un mínimo de seis y aplicar el Test estadístico.

5.2. Test estadístico

Se procede a realizar tres mediciones más de la exposición a polvo de sílice cristalina respirable de los trabajadores, respetando la estrategia de muestreo

diseñada. Los resultados obtenidos se indican en la tabla 3.

Se introduce en el Calculador el código para recuperar los datos de la evaluación y se completan las jornadas 4, 5 y 6 con las concentraciones obtenidas. Se ejecuta la opción “guardar y calcular” para aplicar el Test estadístico a la evaluación y guardar los datos introducidos (ver figura 18).

6. Resultado

Se obtiene para el nivel de exposición la calificación de “ACEPTABLE”, que

indica que la exposición a polvo de sílice respirable es inferior al VLA-ED de acuerdo con las condiciones de conformidad establecidas en la norma UNE-EN 689:2019.

Hay que recordar que, al ser considerada la sílice cristalina un agente cancerígeno, la conformidad de la exposición con el VLA no debe ser suficiente y el técnico debe analizar la situación y adoptar posibles medidas de control con el objeto de que la exposición sea lo más baja técnicamente posible, como establece el Real Decreto 665/1997 sobre la protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos durante el trabajo.

Así mismo, cabe indicar que el calculador recomienda, de acuerdo con los procedimientos de cálculo establecidos en la norma UNE-EN 689:2019, el periodo máximo para realizar nuevas mediciones y reevaluar la exposición. Este periodo recomendado puede ser menor y concretamente en el caso de evaluaciones de exposiciones a agentes cancerígenos se recomienda una periodicidad anual para la realización de las reevaluaciones.

Figura 18 ■ Resultado de la evaluación (Test estadístico)

Exposición a agentes químicos. Comparación ED con VLA-ED

Resultado: Atrás Nuevo cálculo Imprimir

Datos identificativos de la evaluación de la exposición:
 Empresa y dirección: Mármoles y granitos San Antonio
 Actividad y/o tarea: Marmolería
 Localización: Asturias
 Trabajador/GES: GES : terminaciones
 Técnico responsable: María Carballo
 Fecha de inicio: 09/02/2021 0:00:00 Fecha de finalización: 11/02/2021 0:00:00
 Otros:

RESULTADO

Nivel de exposición
ACEPTABLE

La exposición al agente químico es inferior al VLA-ED , según las condiciones de conformidad establecidas en el TEST ESTADÍSTICO para la evaluación de la exposición a agentes químicos en la Norma UNE-EN 689:2019.

| DISTRIBUCIÓN NORMAL | ESTADÍSTICOS | PRUEBA ESTADÍSTICA |
|--|---|--|
| W (Shapiro-Wilk) = 0,961 W _{crítico} = 0,788 | MA = 0,0193 DS = 0,007 | LSC_{95,70} = 0,04 U_g = 4,10 U_f = 2,187 |

Sugerencia: Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 24 meses.

Código de recuperación de datos: **3698837**

