

EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS SEGÚN LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS EN LA NORMA UNE-EN 689:2019. PARTE 1

Elaborado por:

Christian Albornoz Villgra.
Rolando Vilasau Domínguez
Felipe Beriestain Hernández.
David Escanilla Camus.
Sección Riesgos Químicos.
Subdepartamento Ambientes Laborales.
Departamento Salud Ocupacional.

Revisado por:

Edith Rodríguez Alfaro
Jefa Subdepartamento Ambientes Laborales.

1. INTRODUCCIÓN

Una de las acciones más importantes que debe realizarse en la práctica de Higiene Ocupacional es la evaluación de riesgos derivados de la exposición por inhalación de un agente químico peligroso que incluye la medición de las concentraciones del agente químico en el aire.

El objetivo de la estrategia de muestreo y el procedimiento de medición es obtener mediciones válidas y representativas de la exposición de los trabajadores(as) para su comparación con el valor límite permisible, teniendo en cuenta todas las condiciones posibles que razonablemente se puede esperar que estén presentes a lo largo del tiempo.

La medición representativa de la exposición laboral a agentes químicos además de ser compleja, representa desafíos importantes desde el punto de vista técnico y económico, debido principalmente a la variabilidad de la exposición y a los diferentes procesos y productos que afectan a la exposición.

Las diferentes condiciones de los lugares de trabajo pueden generar diferentes concentraciones, esto, puede implicar la presencia de diversos agentes químicos, y pueden presentar, por lo tanto, condiciones de exposición específicas, que en general son difíciles de evaluar y cuantificar, principalmente en las empresas más pequeñas. En este sentido, evaluar la exposición de los trabajadores(as) a agentes químicos y afirmar con certeza que no se excede el Límite Permisible requerirían la medición de la exposición de cada trabajador(a) y de cada día trabajado. Lamentablemente esta aproximación no es viable o práctica para la mayoría de los agentes químicos listados en el Decreto Supremo N° 594 Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo del Ministerio de Salud, MINSAL 1999, debido a las limitaciones de las técnicas de medición y su coste. Una forma de abordar el problema es utilizar la estrategia

descrita en la norma UNE-EN 689:2019, Exposición en el Lugar de Trabajo, Medición de la Exposición por Inhalación de Agentes Químicos, Estrategia para Verificar la Conformidad con los Valores Límite de Exposición Profesional. Esta norma proporciona a las empresas, organismos administradores, profesionales del área de la higiene ocupacional u otros interesados, un procedimiento para resolver el problema de la variabilidad y utilizar un número relativamente pequeño de mediciones para demostrar, con un alto nivel de confianza, que es improbable que los trabajadores(as) estén expuestos a concentraciones que superen el Valor Límite Permisible. Para reducir el número de mediciones de la exposición y, por tanto, el coste de la evaluación, se toman muestras de aire personales entre trabajadores(as) pertenecientes a un grupo de exposición similar (GES), considerando para demostrar de manera fiable la conformidad con el Límite Permisible, la aplicación de una herramienta estadística descrita en el anexo F de la Norma UNE-EN 689:2019.

2. NORMA UNE-EN 689:2019. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN A AGENTES QUÍMICOS.

El procedimiento de evaluación de agentes químicos presentes en el lugar de trabajo no es sencillo puesto que la evaluación de la exposición laboral a agentes químicos basada en el muestreo del aire requiere diferentes procedimientos para determinar la representatividad de las mediciones. En este sentido, es muy importante justificar el número de muestras y el tiempo de medición, su ubicación, el número de trabajadores(as) a muestrear, el número de jornadas durante las que se van a realizar las mediciones, así como también el tratamiento de los datos de las muestras, las cuales, además, deben ser efectuadas por un profesional con formación y experiencia en

higiene industrial y en las técnicas de medición de agentes químicos.

La Norma UNE-EN 689:2019 señala que el proceso de evaluación de riesgos comienza con una evaluación inicial de la exposición laboral seguida de reevaluaciones periódicas. La evaluación inicial de la exposición considera las siguientes etapas:

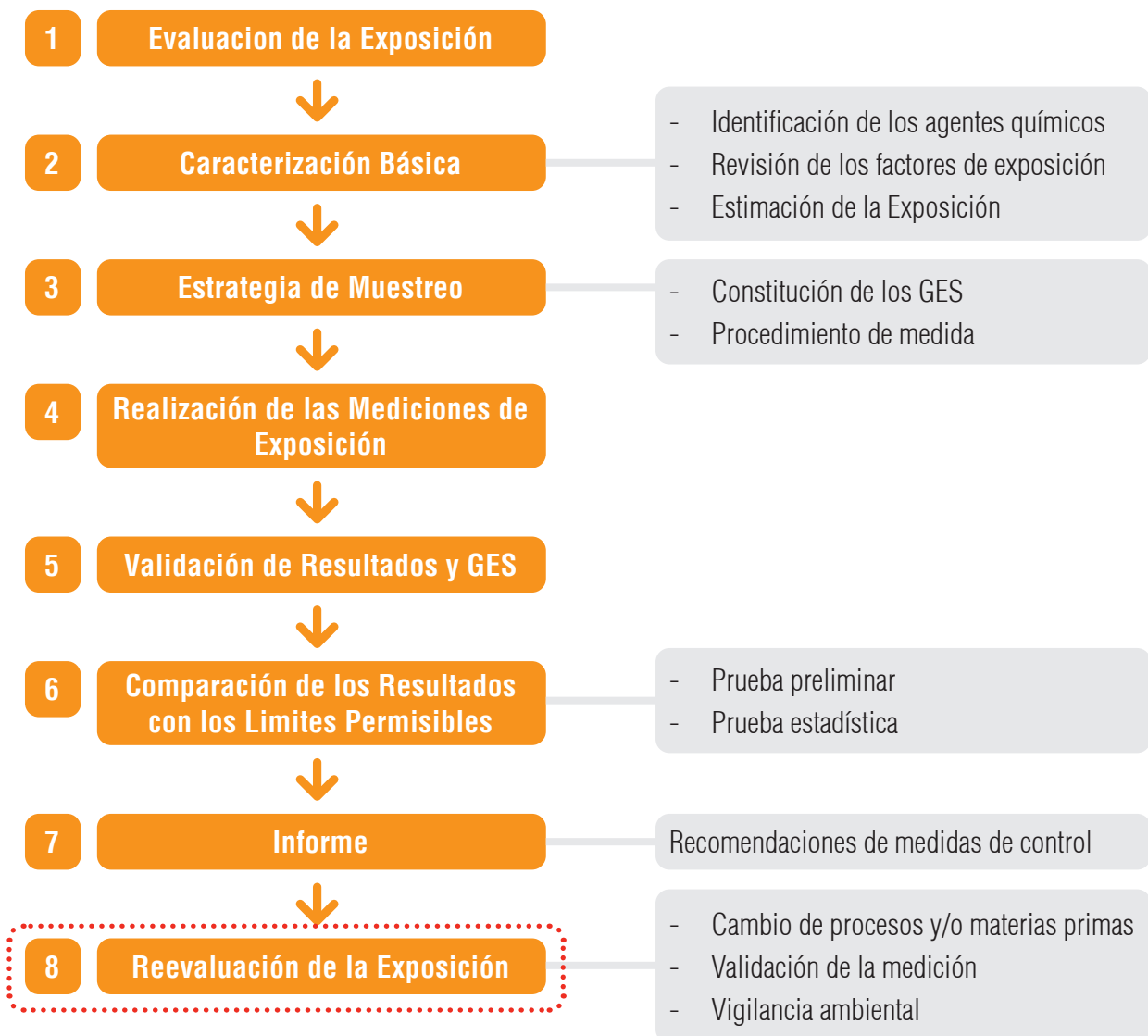
- La caracterización básica;
- La estrategia de muestreo
- La realización de las mediciones de exposición.

- Validación de resultados y grupos de exposición similar (GES)
- Comparación de los resultados con los límites permisibles
- Informe técnico
- Reevaluación de las mediciones.

En la figura N° 1 se muestra una visión esquemática de las etapas que contempla el procedimiento de evaluación de la exposición a agentes químicos.

Figura N° 1:

Procedimiento para la evaluación de la exposición



2.1. Caracterización Básica

El proceso de caracterización básica constituye la primera etapa en el procedimiento de evaluación de riesgos de agentes químicos. En esta etapa el profesional a cargo de la evaluación debe identificar los agentes químicos, las condiciones en las cuales se produce la exposición, las características del lugar de trabajo, los tipos de procesos y tareas, estación del año y condiciones ambientales (temperatura, humedad, velocidad del viento), el tiempo de exposición de los trabajadores(as), las medidas de control implementadas para disminuir la exposición, etc. Obtener esta información por un profesional que cuente con cierto grado de experiencia, permitirá efectuar una estimación de la exposición más o menos cercana a la realidad y por lo tanto determinar el riesgo potencial al que puede estar expuesto el trabajador(a). Para esta etapa se pueden utilizar equipos de lectura directa, que permiten obtener resultados inmediatos y pueden proporcionar información válida acerca del nivel de exposición aproximado, el patrón de exposición y de la variabilidad de la exposición en el tiempo, el espacio y entre trabajadores (UNE-EN 689:2019). Otras metodologías de apoyo para esta etapa son los métodos cualitativos, los cuales pueden ser aplicados con el objetivo de estimar la exposición o la correcta implementación de las medidas de control de riesgos, como son los métodos de bandas de control publicados por instituciones de referencia internacional como el Health and Safety Executive del Reino Unido (HSE), el Institut National de Recherche et de Sécurité de Francia (INRS) y el Instituto Nacional de Salud y Seguridad en el Trabajo de España (INSST). Nuestra institución cuenta con una adaptación de la metodología Control Banding del Reino Unido, publicada en la nota técnica N° 64 con el nombre "Criterios Básicos para la Aplicación de Medidas de Control a Través de la Evaluación Cualitativa Simplificada por Exposición Inhalatoria. Metodología Control Banding".

La Norma UNE-EN 689:2019, especifica que la caracterización básica de los factores de determinantes de una exposición se realiza en tres pasos:

- Identificación de los agentes químicos;
- Revisión de los factores de exposición del lugar de trabajo;
- Estimación de la Exposición.

2.1.1. Identificación de los agentes químicos.

En esta etapa del proceso es necesario preparar un listado de todos los agentes químicos presentes en el lugar de trabajo. Para realizar este trabajo es fundamental obtener información específica y confiable de cada una de las sustancias, una fuente importante de información y consulta la constituyen las fichas de datos de seguridad. Alguno de los antecedentes que se deben recabar para el listado son:

- Las materias primas, los productos primarios, las impurezas, los productos intermedios, los productos finales, los productos de la reacción y subproductos, entre otros.;
- Los agentes químicos individuales, identificados con sus números de registro (CAS, EC).;
- Propiedades toxicológicas, clasificación y etiquetado;
- Límites permisibles (ponderado, temporal, absoluto);
- Nivel IDLH;
- Vías de ingreso (parenteral, dérmica, inhalatoria);
- Otra información de interés como la cantidad utilizada, presión de vapor, temperatura, concentración de saturación, capacidad de emisión de polvo, tipo de fracción del aerosol (inhalable, torácico, respirable).

2.1.2. Revisión de los factores de exposición del lugar de trabajo

Los procesos y procedimientos de trabajo deben ser evaluados con el objetivo de estimar la exposición de los trabajadores(as) expuestos a agentes químicos, para lograr lo anterior se debe realizar una revisión exhaustiva de los factores de exposición del lugar de trabajo, a destacar:

- La organización del trabajo: actividad, tarea puesto de trabajo, jornada de trabajo, funciones, etc.;
- Los procesos y las técnicas (tipos de procesos, temperatura, humedad, presión, etc);
- La distribución y configuración del lugar de trabajo incluyendo espacios confinados, espacios al aire libre, etc.;

- Las medidas y procedimientos de seguridad;
- La limpieza y orden del lugar de trabajo (considerando la periodicidad);
- Las instalaciones de ventilación, otras formas de control técnico y cualquier información sobre su rendimiento;
- Las fuentes de emisión y las localizaciones con altas concentraciones;
- Los periodos, frecuencias y duración de la exposición, teniendo en cuenta la variación de la exposición a lo largo del día y la estación del año;
- La carga de trabajo;
- El comportamiento del trabajador(a);
- Indicadores de la tasa de actividad o producción.

- Las condiciones de operación no pueden dar lugar a la formación de aerosoles;
- Solo se usan pequeñas cantidades;
- Solo son posibles pequeñas emisiones, por ejemplo, debido a pequeñas superficies de emisión o actividades de corta duración (<15min).

Finalmente, con los resultados obtenidos en el proceso de caracterización básica la norma UNE-EN 689-2019, señala que el evaluador puede llegar a las siguientes conclusiones:

- La exposición es superior al valor límite permisible (no conformidad). En esta situación el higienista o evaluador redactará un informe técnico prescribiendo las medidas de control necesarias para reducir la exposición. Una vez implementadas las medidas de control de riesgo, se deben realizar nuevas mediciones para verificar la conformidad.
- La exposición está muy por debajo del valor límite permisible (conformidad), en esta situación el higienista o evaluador debe decidir si las mediciones son o no necesarias. En el caso de que considere que las mediciones no son relevantes, deberá redactar un informe técnico, indicando los métodos de evaluación que utilizó para llegar a dicha conclusión, así como también las razones por las cuales no considera necesario realizar mediciones.
- Si, por el contrario, debido a las características de la exposición, a la toxicidad del agente químico o la existencia de una normativa o protocolo específico, el evaluador considera necesario realizar las mediciones cuantitativas, deberá proponer un plan de muestreo para efectuarlas, considerando para ello el número mínimo de muestras para demostrar la conformidad con el valor límite permisible.
- La información y los diferentes métodos de evaluación aplicados son insuficientes para decidir sobre la conformidad con el valor límite permisible. En esta situación, el higienista o evaluador debe continuar y proponer un plan de muestreo.

2.1.3 Estimación de la exposición

En esta etapa el higienista o evaluador¹ debe recoger toda la información disponible que permita realizar una estimación confiable de la exposición de los trabajadores(as). Algunas fuentes de información incluyen:

- Resultados de mediciones anteriores del lugar de trabajo, incluyendo las obtenidas con instrumentos de lectura directa;
- Resultados de mediciones anteriores en instalaciones o procesos similares;
- Cálculos basados en información cuantitativa relevante;
- Modelos de exposición (por ejemplo, modelo control banding).

En cuanto a la conclusión de que una exposición es más baja que el valor límite permisible la norma UNE-EN-689 señala una serie de casos, a destacar:

- La capacidad de liberación es baja debido a las condiciones laborales y las propiedades de las sustancias (por ejemplo: baja presión de vapor, alto punto de ebullición con baja temperatura del proceso, baja capacidad para generar polvo);

¹ Evaluador: Persona que está suficientemente formada y con experiencia en los principios de la higiene industrial y en las técnicas de medición, para llevar a cabo la parte de la evaluación de acuerdo con el estado de la técnica. Norma UNE-ENE 689:2019.

2.2. Estrategia de Muestreo

El proceso de medición cuantitativa es el procedimiento esencial para determinar la exposición de los trabajadores(as) a agentes químicos presentes en el lugar de trabajo. En este sentido, es importante considerar que para comparar con los valores Límites Permisibles establecidos en el Decreto Supremo N° 594, Sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los Lugares de Trabajo, del Ministerio de Salud, MINSAL 1999., las mediciones deben ser fiables y representativas de la exposición de los trabajadores(as). Cabe destacar que esta tarea no es simple, más bien es compleja, pues requiere desarrollar una estrategia adecuada para cada situación, la cual, debe estar fundamentada en la optimización de los recursos técnicos, humanos y económicos. Por tal motivo, la estrategia de muestreo desarrollada en la norma UNE-EN 689-2019, se fundamenta en dos aspectos fundamentales:

- La constitución de grupos de exposición similar (GES);
- La especificación del procedimiento de medida.

2.2.1. Constitución de los grupos de exposición similar (GES).

En la práctica, generalmente no es posible medir la exposición de cada trabajador(a) durante cada día de trabajo. Para obtener datos cuantitativos de las mediciones de la exposición que permitan la evaluación de la conformidad con los valores límites permisibles, debe considerarse una aproximación razonable que permita un mejor aprovechamiento y eficiencia de los recursos. Una buena práctica para lograr este propósito, es agrupar a los trabajadores(as) en grupos de exposición similar (GES). Este método, basado en la observación de las condiciones laborales, permite la medición de la exposición de un pequeño grupo de trabajadores pertenecientes a un GES para la comparación con el valor límite permisible. En el caso de que las mediciones de la exposición de algunos trabajadores del GES indiquen que se cumple el límite permisible, es decir conformidad, se considera entonces que se cumplen para todos los trabajadores(as) que constituyen el GES.

EL GES debe constituirse usando información respecto del perfil de exposición² y la duración de las tareas desarrolladas en las jornadas de trabajo a lo largo del año. Lo anterior requiere de especialistas con experiencia en higiene industrial. En general, la información que se requiere incluye:

- El tipo de trabajo de la empresa;
- El inventario de las tareas dentro de un trabajo;
- El perfil de exposición específico para cada tarea;
- Las condiciones en que se realizan las operaciones y las medidas de gestión del riesgo;
- La duración y la localización de la exposición dentro de la jornada y a lo largo del tiempo, determinado por la frecuencia y periodicidad de las tareas;
- Nómina de trabajadores.

El número de mediciones deben ser las necesarias para concluir sobre la conformidad de la exposición con el valor límite permisible. En este caso, se debe considerar el número de trabajadores(as) que componen el GES para contemplar la posibilidad de realizar mediciones adicionales a las mínimas necesarias, en especial cuando la verificación de la conformidad de la exposición con el límite permisible requiera la realización de una Prueba Estadística. Si bien, la norma UNE-EN 689:2019, no establece una indicación específica, es posible utilizar como referencia el trabajo publicado por NIOSH el año 1977 (National Institute for Occupational Safety and Health.).

Liedel y Col (NIOSH,1977) infieren la elección del número de trabajadores(as) a muestrear en un GES bajo la hipótesis de que, entre los individuos seleccionados al azar, se encuentre al menos a uno de los trabajadores(as) de la más alta exposición. Para determinarlo se utilizan los principios de la distribución hipergeométrica, la cual se detalla en la siguiente fórmula:

² Perfil de Exposición: La norma UNE-EN 689:2019 lo define como la descripción de las variaciones de la exposición a un agente químico en relación a la serie de actividades definibles dentro de los periodos bajo consideración.

Fórmula 1:

$$p = \frac{\binom{N^\circ}{x} \binom{N-N^\circ}{n-x}}{\binom{N}{n}}; \text{ donde: } \binom{N}{n} = \frac{N!}{n!(N-n)!}$$

Donde:

n: Es el número de personas trabajadoras que se muestrean;

N°: El número de personas trabajadoras de mayor exposición dentro del GES;

N: Es el total de personas trabajadoras del GES;

1-p: Es la probabilidad de que, entre los n muestreadores, se incluya al menos una de las personas trabajadoras N° de mayor exposición.

En la tabla N° 1 se indican, para cuatro combinaciones diferentes de N° y p, los trabajadores(as) a muestrear (n) en un grupo de N trabajadores(as), para que al menos incluya a uno de los N° que se presume tiene la más alta exposición.

Para entender la tabla anterior, se desarrollarán los siguientes ejemplos:

- **Ejemplo 1: Utilizando la combinación N° =0,1 y p=0,05:** Si de un GES de 30 trabajadores(as) (N=30) se eligen al azar 18 trabajadores(as) (n=18), la probabilidad de muestrear al menos a una de las 3 personas trabajadoras (el 10% del total) que tiene mayor exposición sería del 95% (1-p=0,95).

- **Ejemplo 2: Utilizando la combinación N°=0,2 y p=0,1:** Si de un GES de 50 o más trabajadores(as) (N ≥ 50) se eligen al azar 11 trabajadores(as) (n =11), la probabilidad de muestrear al menos a una de las 10 personas trabajadoras (el 20% del total) que tiene mayor exposición sería del 90% (1-p= 0,90).

2.2.2. Especificación del procedimiento de medición

El objetivo del procedimiento de medición y la estrategia de muestreo es obtener resultados válidos y representativos de la exposición de los trabajadores(as) para su comparación con el respectivo valor límite permisible. Dado lo anterior, la norma UNE-EN 689:2019, señala que los procedimientos de medida utilizados deben estar validados, es decir, deben cumplir requisitos relativos a la especificidad, a la sensibilidad, al límite de cuantificación, a la capacidad de los muestreadores, a la estabilidad y al transporte, al rango de aplicación y a la incertidumbre. Todos estos parámetros son recogidos en diferentes cuerpos normativos internacionales, como son las Normas Europeas EN 481, EN 838, EN 1076, EN 13205-1, EN 13890 y EN 13936.

La responsabilidad del higienista en el procedimiento de medición y estrategia de muestreo es seleccionar procedimientos que cumplan los requisitos señalados en las normas técnicas y documentos de

Tabla 1:

Número de trabajadores(as) a muestrear pertenecientes a un GES (Leidel, Busch y Lynch. Occupational Exposure Sampling Strategy. NIOSH, 1977).

N	8	9	10	11-12	13-14	15-17	18-20	21-24	25-29	30-37	38-49	50	>50	N°=0,1N
n	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	22	p=0,1
N	12	13-14	15-16	17-18	19-21	22-24	25-27	28-31	32-35	36-41	42-50	>50		N°=0,1N
n	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	29		p=0,051
N	9	7-9	10-14	15-26	27-50	>50								N°=0,2N
n	5	6	7	8	9	11								p=0,1
N	7-8	9-11	12-14	15-18	19-26	27-43	44-50	>50						N°=0,2N
n	6	7	8	9	10	11	12	14						p=0,05

referencia. En este sentido, una fuente de información y consulta son los Protocolos para la Toma de Muestras de Agentes Químicos publicados por el Instituto de Salud Pública de Chile (ISPCH), el Manual Básico Sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional del ISPCH, Normas Internacionales, etc. El uso de estos documentos es una garantía para obtener resultados representativos y confiables.

Para el proceso de muestreo en el lugar de trabajo, se deben utilizar, cuando sea posible, equipos de muestreo personal, sujetos a la ropa del trabajador(a), de forma tal, que el elemento de captación (cabezal de muestreo) se situó a la altura de la zona respiratoria del trabajador(a), este tipo de muestreo se denomina muestreo de tipo personal, es el que proporciona valores más representativos de la exposición y su objetivo es comparar los resultados de las concentraciones encontradas con el valor límite permisible. En este sentido, resulta importante considerar que dada la variabilidad de la concentración de los agentes químicos presentes en las atmosferas de los lugares trabajo, el muestreo en un punto fijo es generalmente menos representativo de la exposición del trabajador(a). Asimismo, y como parte de la estrategia de muestreo es necesario señalar y considerar que los trabajadores(as) deberían ser informados sobre el objetivo de la medición y de las recomendaciones especiales de su comportamiento durante todo el tiempo de muestreo.

Otro factor importante que puede influir en la representatividad de las mediciones de la exposición es la duración del muestreo. Por lo tanto, el tiempo total de muestreo debería ser lo más próximo posible al periodo de referencia³ del respectivo valor Límite Permisible (LPP; LPT; LPA).

El número de muestras necesarias para cubrir el tiempo total de muestreo dependerá de la concentración del agente químico y de su variación a lo largo de la jornada laboral, del límite de cuantificación de la técnica analítica (Loq) y de algunas limitaciones

3 Periodo de referencia: Período especificado de tiempo, establecido para el valor límite de un determinado agente químico. El período de referencia para el límite permisible ponderado (LPP) es habitualmente de 8 horas, y para el límite permisible temporal (LPT), de 15 minutos. Norma UNE-EN 1540:2012. Exposición en el lugar de trabajo. Terminología

técnicas, como son la colmatación del filtro o la saturación del material adsorbente utilizados para captar las sustancias químicas presentes en el lugar de trabajo. En este sentido, el procedimiento de medida proporcionará datos relevantes como son el límite de cuantificación del método analítico, el caudal de muestreo, los tiempos recomendados de muestreo, etc., antecedentes que permiten al higienista elaborar una estrategia de muestreo con el propósito de determinar concentraciones ambientales de las sustancias químicas en el intervalo de 0,1 LPP a 2 LPP. Para lo anterior es necesario determinar el volumen mínimo de muestreo, el cual se calculará a través de la siguiente fórmula:

Fórmula 2:

$$V_{\text{mínimo}} = \frac{Loq}{(0,1 \times LPP)}$$

De la fórmula anterior se puede concluir que el volumen de aire muestreado y definido en la estrategia de muestreo debe ser igual o superior al volumen mínimo de muestreo calculado en la fórmula 2, es decir: $V_{\text{muestreo}} \geq V_{\text{mínimo}}$.

Siendo el límite de cuantificación del procedimiento de medida (LOQ) como la razón entre el límite de cuantificación de la técnica analítica (Loq) y el volumen de muestreo.

$$LOQ = \frac{Loq}{V_{\text{muestreo}}}$$

De acuerdo al requisito establecido en la Norma UNE-EN 482:2021, el LOQ siempre debe ser igual o menor que el 10% de la concentración del Límite Permisible Ponderado.

En el caso que la evaluación de la exposición se realice con el propósito de comparar la concentración encontrada con el límite permisible temporal (LPT), la estrategia de muestreo debe permitir determinar concentraciones ambientales de los agentes químicos en el intervalo de 0,5 LPT a 2 LPT. Para esta situación, el volumen mínimo de muestreo se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

Fórmula 3:

$$V_{\text{mínimo}} = \frac{Loq}{(0,5 \times LPT)}$$

De la fórmula anterior se puede concluir que el volumen de aire muestreado y definido en la estrategia de muestreo debe ser igual o superior al volumen mínimo de muestreo calculado en la fórmula 3, es decir: $V_{\text{muestreo}} \geq V_{\text{mínimo}}$.

De acuerdo al requisito establecido en la Norma UNE-EN 482:2021, para este caso el LOQ tiene que ser menor o igual que el 50% de la concentración del LPT correspondiente.

A continuación, se detalla un ejemplo para calcular el volumen mínimo de muestreo.

En un lugar de trabajo se debe realizar una evaluación para determinar la exposición a un agente químico, el Límite Permisible Ponderado es de 0,05 mg/m³ y el límite de cuantificación es de 3 ug/muestra. Para el muestreo se utiliza un ciclón conductor de plástico para fracción respirable que trabaja a 3l/min.

$$V_{\text{mínimo}} = \frac{Loq}{(0,1 \times LPP)}$$

$$V_{\text{mínimo}} = \frac{3 \text{ ug}}{(0,1 \times 0,05 \text{ mg/m}^3)} = 600 \text{ litros}$$

Como el caudal de trabajo del ciclón (especificado por el fabricante) es de 3 l/min, el tiempo de muestreo para captar el volumen mínimo de muestreo se determina de la siguiente manera:

$$tm = \frac{600 \text{ litros}}{3 \text{ l/min}} = 200 \text{ minutos}$$

De lo anterior podemos deducir que una correcta estrategia de muestreo para determinar la exposición a este agente químico debe considerar volúmenes de muestreo superiores a 600 litros. Un volumen inferior a 600 litros no permite la determinación de concentraciones iguales o inferiores al 10% del LPP.

En el caso de que el método analítico o procedimiento de medida (toma de muestra + análisis) no pueda ser capaz de cuantificar concentraciones iguales o inferiores al 10% del LPP (LOQ > 10% LPP),

o iguales o inferiores al 50% del LPT (LOQ > 50% LPT) (Norma UNE-EN 482:2021), se justificará que se utilicen procedimientos analíticos suficientemente sensibles y la mayor cantidad de volumen de muestreo posible, para garantizar que se ha conseguido con el procedimiento de medida el LOQ más bajo alcanzable, dadas las condiciones de la exposición y el estado del arte.

2.3. Realización de las mediciones de exposición

En esta etapa es fundamental que el higienista (evaluador) se cerciore y asegure que los trabajadores(as) estén informados sobre los objetivos del muestreo. El higienista debe comprobar que la actividad laboral es consistente con lo observado en la etapa de estrategia de muestreo, así como también, controlar el muestreo permaneciendo en el lugar o disponiendo que se haga por otra persona que esté suficientemente formada y experimentada en el control efectivo de la tarea de muestreo. Para la interpretación de los resultados, es necesario que para cada muestra se recopile y registre permanentemente la siguiente información:

- Identificación del GES y de los trabajadores(as);
- Descripción del lugar de trabajo;
- Agentes químicos relevantes para la actividad;
- Tareas realizadas;
- Horas de trabajo diario, semanal y duración de la exposición a los agentes químicos identificados;
- Medidas de control implementadas (ingenieriles, administrativas y entrega de EPP);
- Condiciones ambientales relevantes del lugar de trabajo (como: temperatura, humedad relativa, presión atmosférica, velocidad del aire);
- Interferencias producto de actividades laborales cercanas u otras (por ejemplo, fumar);
- Otras actividades presentes o inusuales, incidentes, paralización del proceso, etc.;
- Información del muestreo, tal como identificación de las muestras y del equipo de muestreo utilizado, caudal de muestreo, inicio y final del muestreo, etc.

2.4. Validación de los Resultados y GES

2.4.1. Validación de las mediciones

Cuando los resultados de las mediciones están disponibles, cada medición debe evaluarse utilizando la información recogida durante el muestreo, y por comparación con las otras mediciones del GES.

Si el resultado es inusualmente alto o bajo, debe considerarse la posibilidad de que sea debido a errores de muestreo o análisis, si este es el caso, entonces el resultado se debe descartar. Considerando, antes de descartar la medición, todas las anotaciones, registros e información obtenida y analizada para identificar cada una de las mediciones en las que han ocurrido accidentes, mal funcionamiento del tren de muestreo o manipulación de los equipos por personal no calificado. Si la irregularidad no puede ser detectada, la medición no debe excluirse. Si las mediciones son excluidas, puede ser necesario repetir las mediciones hasta obtener un número de muestras suficientemente representativas para comparar con los respectivos Límites Permisibles.

Cualquier eliminación de resultados y sus motivos deben ser expresamente descritas en el informe.

2.4.2. Validación de los GES.

Una vez que han sido aceptado los resultados de las mediciones, estos deben ser utilizados para validar la composición de cada GES. Basado en la opinión experta y la información recogida durante las mediciones y el proceso de caracterización básica, con esta información el higienista debe ser capaz de confirmar cada GES. La Norma UNE-EN 689:2019 señala que cuando el número de mediciones válidas es de al menos 6, debe comprobarse la distribución de las concentraciones.

En general, la distribución de las concentraciones de agentes químicos presentes en el lugar de trabajo, habitualmente siguen una distribución logarítmico – normal. Para comprobar si todos los individuos pertenecen al mismo GES, y si la distribución de las mediciones tiene un comportamiento log-normal, debe analizarse el gráfico de probabilidad logarítmica de los datos.

Una consideración importante y que complejiza la toma de decisiones es que dos trabajadores(as) que

realizan la misma tarea pueden no tener la misma exposición. Esta situación, conocida como variabilidad entre trabajadores(as), puede llevar a que las concentraciones encontradas en uno de los trabajadores(as) no pueden aplicarse al resto de los trabajadores(as) que realizan nominalmente el mismo trabajo. Asimismo, es necesario considerar otras variables que pueden causar variaciones en la concentración, una de ellas corresponde a la variabilidad de la concentración que se puede generar en los diferentes días que componen la jornada laboral semanal, dando lugar al concepto de variabilidad intra-trabajador(a).

En función de las variables mencionadas anteriormente, se puede concluir que si las concentraciones encontradas muestran que uno o más trabajadores(as) presentan una exposición inusual, que parece inconsistente con la distribución de los resultados del GES, deben investigarse las razones y ese grupo de trabajadores(as) pueden tratarse por separado, por ejemplo, formando un nuevo GES y por lo tanto, si es necesario, realizar más mediciones. Con todo, cualquier cambio o modificación de un GES debe señalarse y explicarse en el informe técnico.

Finalmente, si los factores que determinan la exposición no sufren cambios significativos podríamos concluir que el GES está bien constituido, en este sentido se deberá determinar si las concentraciones se ajustan, en la mayoría de los casos, a una distribución log normal o, en algunos casos a una distribución normal. Existen diferentes métodos estadísticos que permiten determinar el tipo de distribución al que se ajustan los resultados. Desde programas informáticos de tratamiento de datos, como por ejemplo el EASC-IHSTAT de la AIHA, Excel, Altrex Chemie del INRS. Etc. El método propuesto en la Norma UNE-EN 689 es la prueba Shapiro –Wilk, la cual es válida hasta un número máximo de 50 resultados.

2.4.3. Comparación de los resultados con los Límites Permisibles.

La concentración de agentes químicos obtenidas a través del proceso de evaluación de la exposición requiere comparar el valor de la concentración media del agente químico con el correspondiente Límite Permissible (LPP, LPT, LPA). En este sentido, es imprescindible que las muestras sean representativas y

confiables, para lo cual se deben considerar aspectos referentes a la toma de muestra y análisis de las muestras. Los primeros permitirán asegurar la representatividad de las muestras tomadas y los segundos la confiabilidad de los resultados.

El Manual básico Sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile señala que para que una muestra sea considerada representativa, se debe verificar el cumplimiento de los siguientes parámetros:

- El tipo de muestra: Según el propósito de muestreo se determinará cada muestra. Cuando se trate de verificar el cumplimiento de un límite permisible, la muestra deberá ser de tipo personal, es decir, el trabajador(a) evaluado(a) deberá portar el tren de muestreo. Todos los demás propósitos, podrán utilizar muestreos del ambiente de trabajo, y según las circunstancias combinar con muestreos personales.
- El tiempo de muestreo: Para la verificación de cumplimiento de límites permisibles, los tiempos de muestreo deberán ser los siguientes, según el tipo de límite:
 - Límite permisible ponderado: Al menos el 70% de la jornada de trabajo.
 - Límite permisible temporal: Al menos 15 minutos, durante una jornada, en la etapa más crítica del proceso.
 - Límite permisible absoluto: Idealmente una medición instantánea, en periodo de mayor contaminación.

Cuando se planifique tomar más de una muestra en un periodo de evaluación, el número total de estas muestras parciales estará determinado por el volumen mínimo de muestreo que exige la técnica analítica.

- Utilizar métodos de muestreo de acuerdo a protocolos oficiales.
- Trazabilidad de la información: para cada muestra se deberá registrar como mínimo la identificación de ella, nombre del trabajador(a) especificando las actividades o tareas que realizará o del área o tarea a evaluar, fecha de muestreo, turno evalua-

do, hora de inicio y termino del muestreo, ciclo de turnos si corresponde, altura geográfica del lugar de trabajo. Considerar el registro de la temperatura y humedad relativa, así como también la dirección y velocidad del aire.

- Competencia técnica de la(s) persona(s) a cargo de realizar el procedimiento de evaluación.
- Los trabajadores(as) a evaluar son parte importante para lograr una muestra representativa, ya que son ellos quienes informan de las tareas efectivas que desarrollaron en su jornada, así como de situaciones no habituales ocurridas durante la jornada laboral. Por lo tanto, deberán ser informados sobre el objetivo del muestreo el agente a evaluar, el funcionamiento del tren de muestreo, los cuidados que se deben tener para evitar que se detenga y las situaciones que deberá comunicar a la persona a cargo del muestreo.

La Norma UNE-EN 689:2019 señala que, ante la imposibilidad práctica, técnica y económica, es imposible medir la exposición de cada uno de los trabajadores(as) todos los días de trabajo para demostrar la conformidad con el valor límite permisible. Por lo tanto, en la norma se propone un procedimiento que permite evaluar la exposición de los(as) trabajadores(as) o GES a partir de un número reducido de mediciones.

El procedimiento comprende dos etapas, una prueba preliminar, en la que es necesario contar con un mínimo de tres y hasta cinco mediciones, y una segunda prueba, que corresponde al test estadístico, que solo se aplica en el caso de no poder concluir la conformidad de los resultados en la prueba preliminar. Para la aplicación del test estadístico será necesario contar con un mínimo de 6 mediciones. Dada la complejidad de este tema, en una próxima nota técnica se abordarán en profundidad los criterios para determinar la conformidad con los valores límites permisibles en función de la prueba preliminar y la prueba estadística descritas en la Norma UNE-EN 689:2019.

2.5. Informe Técnico.

El responsable de realizar las mediciones de la exposición es la persona que debe estar a cargo de redactar el informe técnico sobre la evaluación de la exposición laboral y sobre cualquier medición periódica. De acuerdo a lo señalado en la norma UNE-EN 689:2019, el informe técnico debe contener al menos la siguiente información:

- Nombre del higienista o evaluador y entidades que se encargan de la evaluación y de las mediciones;
- Objetivo de la evaluación;
- Nombre de los agentes químicos considerados;
- Nombre y dirección de las instalaciones;
- Descripción de los factores de exposición del lugar de trabajo y de las condiciones de trabajo;
- Observaciones realizadas durante el muestreo;
- Resultados y conclusiones de la caracterización básica;
- Procedimiento de medición, equipos utilizados y conformidad con los requisitos señalados en los protocolos de toma de muestra de agentes químicos;
- Tiempo de muestreo (fecha, comienzo y final);
- Altura geográfica;
- Jornada laboral (horas semanales) y turno de trabajo;
- Condiciones ambientales (temperatura, humedad y velocidad del viento);
- Concentración de la exposición;
- Detalles del aseguramiento de la calidad (por ejemplo: incertidumbre expandida del volumen de muestreo);
- Identificación clara de los resultados;
- Resultado de la comparación con el Límite Permisible (LPP, LPT, LPA), corregidos por factor de jornada y/o altura si corresponde;

Consideraciones finales:

En el desarrollo de esta nota técnica pudimos apreciar que la evaluación de riesgos derivados de la exposición por inhalación a un agente químico no es una tarea sencilla, más bien, es una tarea bastante compleja, puesto que para obtener mediciones válidas y representativas de la exposición además de requerir especialistas con experiencia y formación en higiene ocupacional, es necesario considerar todas las posibles condiciones que razonablemente se puede esperar que estén presentes a lo largo de la jornada laboral.

El procedimiento para la evaluación de la exposición requiere de diversas etapas que el higienista debe contemplar, como son: la caracterización básica, la estrategia de muestreo, la realización de las mediciones de la exposición, la validación de los resultados y grupos de exposición similar (GES), la comparación de los resultados con los límites permisibles, el tratamiento estadístico de los datos y finalmente la elaboración del informe técnico. Considerar cada una de las etapas abordadas en esta nota técnica permitirá abordar aspectos relevantes en el proceso de toma de muestra con el propósito de obtener resultados representativos y confiables de la exposición de los trabajadores(as).

Bibliografía:

- Norma UNE – EN 689:2019. Exposición en el lugar de trabajo. Medición de la Exposición por inhalación de Agentes Químicos. Estrategia para Verificar la Conformidad con los Valores Límite de Exposición Profesional.
- Norma UNE – EN 482: 2021. Exposición en el Lugar de Trabajo. Procedimiento para la Determinación de la Concentración de los Agentes Químicos. Requisitos Generales Relativos al Funcionamiento.
- Norma UNE-EN 1540:2012. Exposición en el lugar de trabajo. Terminología
- Manual Básico sobre Mediciones y Toma de Muestras Ambientales y Biológicas en Salud Ocupacional del Instituto de Salud Pública de Chile, tercera edición, año 2013.
- Occupational Exposure Sampling Strategy Manual. National Institute for Occupational Safety and Health. NIOSH, año 1977.