

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ



**MÁSTER UNIVERSITARIO
EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES**

TRABAJO DE FIN DE MÁSTER



**EVALUACIÓN DEL RIESGO QUÍMICO POR
EXPOSICIÓN A ESTIRENO (COV) Y MATERIA
PARTÍCULADA EN UNA EMPRESA DE
FABRICACIÓN DE PERFILES DE POLIÉSTER
REFORZADO.**

Tutor: Borja Garrido Arias

Alumna: Dolores López Cermeño

CURSO ACADÉMICO 2024-2025



INFORME DEL DIRECTOR DEL TRABAJO FIN MASTER DEL MASTER UNIVERSITARIO EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

D. Borja Garrido Arias, Tutor del Trabajo Fin de Máster, titulado **“EVALUACIÓN DEL RIESGO QUÍMICO POR EXPOSICIÓN A ESTIRENO (COV) Y MATERIA PARTÍCULADA EN UNA EMPRESA DE FABRICACIÓN DE PERFILES DE POLIÉSTER REFORZADO”** y realizado por la estudiante Dolores López Cermeño.

Hace constar que el TFM ha sido realizado bajo mi supervisión y reúne los requisitos para ser evaluado.

Fecha de la autorización: 15/05/2025



RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

La fabricación de perfiles de poliéster reforzado con fibra de vidrio mediante pultrusión, los trabajadores están expuestos a compuestos orgánicos volátiles como **el estireno, y partículas en suspensión**. La exposición continuada, puede provocar daños en la salud respiratoria y se ha relacionado con riesgo de cáncer, según la IARC (2020). Estudios recientes, como los de Smith et al. (2021), confirman su relación con enfermedades pulmonares y alteraciones neurológicas, coincidentes con investigaciones anteriores (Cohen et al., 2002).

El presente trabajo tiene como objetivo principal realizar un estudio de exposición del estireno y materia particulada en una empresa concreta de fabricación de perfiles de poliéster reforzado. Se ha seguido la metodología de la Guía Técnica de los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo (INSST). Las mediciones se realizaron mediante bombas de muestreo personal y tubos de carbón activo, obteniendo datos de la exposición real en el puesto de trabajo.

Los resultados obtenidos indican que la exposición a estireno y materia particulada no superan los límites establecidos legalmente. Aun así, se recomienda implementar medidas preventivas, mejorar la ventilación y el sistema de extracción localizada para minimizar la concentración de exposición para garantizar unas condiciones laborales seguras.

PALABRAS CLAVE: estireno, partículas en suspensión, riesgo químico, exposición laboral, poliéster reforzado.

ÍNDICE

1. JUSTIFICACIÓN.....	7
2. INTRODUCCIÓN (Marco normativo).	9
2.1. Normativa de aplicación.	9
2.1.1. Legislación nacional e internacional sobre agentes químicos.	9
2.1.2. Normativa específica sobre estireno y partículas en suspensión.	10
2.1.3. NTP's.....	12
3. OBJETIVOS.	13
3.1. Objetivo general.	13
3.2. Objetivos específicos.	13
4. MATERIAL Y MÉTODOS.	14
4.1. Descripción de la empresa.	14
4.2. Descripción del proceso productivo y puntos de emisión.	15
4.3. Puestos de trabajo en la empresa.	22
4.4. Trabajadores afectados (a fecha de la medición).	23
4.5. Horario de trabajo.	24
4.6. Caracterización de los agentes químicos evaluados.	25
4.6.1. Propiedades de la resina de poliéster (estireno).....	25
4.6.2. Características de las partículas en suspensión.	29
4.7. Descripción de las tareas desarrolladas durante la medición.	29
4.8. Equipos de protección individual.	33
4.9. Medidas preventivas adoptadas en la empresa.....	35
4.10. Metodología de evaluación.	40
4.10.1. Descripción del modelo de evaluación.....	44
4.10.2. Equipos de muestreo.....	45
4.10.3. Procedimiento para la toma de muestras.	46
4.11. Medición efectuada.....	52
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	54
5.1. Datos obtenidos.	54
5.2. Valoración Exposición Diaria por inhalación.	56
5.2.1. Efectos crónicos de la exposición a Estireno y material particulado.	57
5.3. Dosis Máxima Permitida.....	60
5.4. Índice de Exposición.	63
5.5. Resumen de los resultados obtenidos.....	64
5.6. Comparación ED con VLA-ED con aplicación del INSST.	66

6.	CONCLUSIONES.....	72
6.1.	Conclusiones de los resultados obtenidos.....	75
6.1.1.-	Estireno.....	75
6.1.2.-	Materia particulada.....	76
6.2.	Protecciones colectivas existentes en la empresa.....	78
6.3.	Equipos de protección individual disponibles en la empresa.	79
6.4.	Medidas preventivas.	80
6.5.	Medidas correctoras.....	84
6.6.	Propuestas de futuras investigaciones.	88
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	90
7.1.	Referencias normativas.....	91
7.2.	Estudios científicos y técnicos utilizados.	91
7.3.	Consultas Web.....	92
8.	ANEXOS.	93
	Anexo 1: DEFINICIONES.	93
	Anexo 2: Información de los productos.	94
	A 2.1 Ficha de Seguridad (FDS) del Estireno.....	94
	A 2.2. Ficha informativa: exposición a materia particulada.	100
	Anexo 3: Modelo de formato modelo de formato para la entrega y recepción de Equipos de Protección Individual (EPI) al trabajador.....	108
	Anexo 4: Muestreo.....	109
	A 4.1 Especificaciones técnicas de la bomba utilizada.	109
	Anexo 5: Plano de las instalaciones y ubicación de los puntos de muestreo.....	110
	Anexo 6: FICHA TÉCNICA EPIs.....	111

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS.

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Esquema general de un proceso de fabricación de piezas de plástico reforzado.	7
Figura 2. Fibras de refuerzo.	18
Figura 3. Proceso de pultrusion.	22
Figura 4. Esquema de cabina abierta.	37
Figura 5. Unidad móvil de extracción.	38
Figura 6. Ejemplo de un sistema impulsión-aspiración para la fabricación de objetos planos.	39
Figura 7. Metodología para la evaluación del riesgo higiénico.	41
Figura 8. Calibrador de caudal modelo Gilibrator.	46
Figura 9. Tubo de carbón.	46
Figura 10. Bomba personal de muestreo de aire de bajo flujo con tubo de carbón.	46
Figura 11. Tubo de muestreo en la solapa y bomba de muestreo sujeta en el cinturón.	47
Figura 12. Portafiltros o Cassette y filtros.	50
Figura 13. Partes del cassette y filtro.	50
Figura 14. Cassette.	50
Figura 15. Cassette unido al tubo flexible.	50
Figura 16. Bomba con cassette.	50
Figura 17. Bomba y partes del cassette.	50
Figura 18. Tubo de muestreo en la solapa y bomba de muestreo sujeta en el cinturón.	51
Figura 19. Tubo de muestreo en la solapa y bomba de muestreo sujeta en el cinturón.	51
Figura 20. Proceso a seguir después de obtener los resultados.	72
Figura 21. Equipos de protección respiratoria que disponen los trabajadores.	79
Figura 22. Protección respiratoria FFP2 que disponen los trabajadores.	79
Figura 23. Plano de las instalaciones con puntos de muestreo.	110

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. LEP para Agentes químicos en España (2025) de partículas.	10
Tabla 2. LEP 2025 para el Estireno.	10
Tabla 3. VLB (LEP 2024) para el Estireno.	11
Tabla 4. Notas de la tabla 2 de los VLB.	11
Tabla 5 Clasificación toxicológica de resinas de poliéster insaturado.	17
Tabla 6 Características de los disolventes volátiles.	20
Tabla 7. Puestos de trabajo en la empresa por áreas y funciones.	23
Tabla 8. Detalle de las actividades que realizan, así como la frecuencia y duración de las mismas.	24
Tabla 9. Identificación de la resina de poliéster insaturado.	25
Tabla 10. Propiedades físico-químicas del Estireno.	27
Tabla 11. Tarea con su duración de tiempo.	32
Tabla 12. Equipos de protección individual.	35
Tabla 13. Cuadro resumen metodología de evaluación.	42
Tabla 14. Metodología de evaluación para el Estireno.	44
Tabla 15. Metodología de evaluación para la materia particulada.	45

Tabla 16. Equipos de muestreo utilizados para realizar las mediciones.....	45
Tabla 17. Datos del muestreo.	53
Tabla 18. Resultados obtenidos en el laboratorio de todas las mediciones de estireno.	54
Tabla 19. Resultados obtenidos en el laboratorio de las mediciones más altas de estireno..	55
Tabla 20. Resultados obtenidos en el laboratorio de todas las mediciones de materia particulada.....	56
Tabla 21. Resultados obtenidos en el laboratorio de las mediciones más altas de materia particulada.....	56
Tabla 22. Resultados de concentración de Estireno de ED y sus límites VLA-ED.	58
Tabla 23. Resultados de concentración de Materia particulada de ED y sus límites VLA-ED.	59
Tabla 24. Valores obtenidos de la muestra VP-1	61
Tabla 25. Valores obtenidos de la muestra VP-2	61
Tabla 26. Valores obtenidos de la muestra MP-1.....	62
Tabla 27. Valores obtenidos de la muestra MP-2.....	62
Tabla 28. Resumen de los resultados obtenidos de todas las muestras de Estireno, tiempo exposición 8 h.	64
Tabla 29. Resumen de los resultados obtenidos de todas las muestras de materia particulada, tiempo exposición 8 h.....	65
Tabla 30. Medidas preventivas para la exposición a vapores orgánicos.	82
Tabla 31. Medidas preventivas para la exposición a polvo ambiente.	83
Tabla 32. Tipos de fracción de polvo respirable.	102
Tabla 33. Tamaño de partícula y capacidad de penetración pulmonar.	102
Tabla 34. Efectos nocivos del polvo.....	104
Tabla 35. Límites de exposición profesional para agentes químicos 2025 para exposición al polvo.	105
Tabla 36. Medidas preventivas y posibles acciones.....	106

1. JUSTIFICACIÓN.

La industria de fabricación de **perfiles de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV)** es importante debido al aumento en la necesidad de materiales resistentes y livianos para diferentes sectores industriales, como industria naval, industria química, el transporte y especialmente en la construcción y la arquitectura.

Estos perfiles, fabricados mediante el proceso de **pultrusión**, implican la **combinación de resinas de poliéster insaturado** que contienen **estireno** es un compuesto orgánico volátil (COV) que actúa como monómero reactivo y agente de transferencia de viscosidad con **fibras de vidrio** para obtener estructuras de alta resistencia mecánica, bajo peso, ligereza, durabilidad y flexibilidad.

Durante las fases de impregnación, laminado y curado, este compuesto orgánico volátil (COV) se libera al ambiente laboral, generando un riesgo potencial para la salud de los trabajadores. Además, los procesos de corte, lijado y acabado de los perfiles generan **materia particulada** compuestas por fibras de vidrio y residuos poliméricos, que pueden presentar riesgos respiratorios y dermatológicos.

Los procesos de fabricación de productos de plástico reforzado con fibra de vidrio se basan en general en el esquema que se indica a continuación:

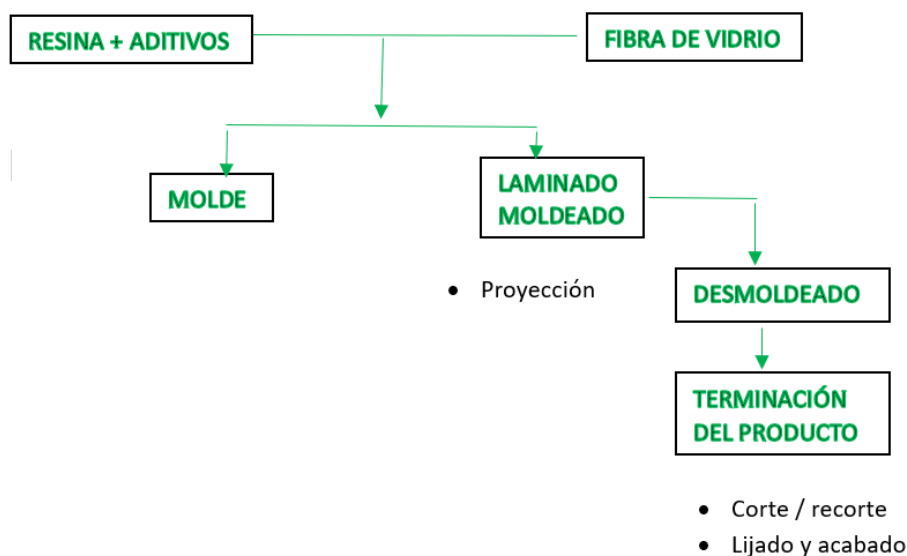


Figura 1. Esquema general de un proceso de fabricación de piezas de plástico reforzado.

El continuo crecimiento de empresas dedicadas a la fabricación de productos en poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), como Polymec, Tadipol S.L., Tecnipol, Mafisan o Aralia, refleja la consolidación de este sector. Esto implica la necesidad de garantizar puestos de trabajo seguros, concretamente a la exposición de estireno y las partículas en suspensión. Proteger la salud de los trabajadores no solo es una exigencia normativa, sino también es importante para la sostenibilidad y competencia de estas empresas en un mercado cada vez más exigente.

El estireno (C_8H_8) es una sustancia química utilizada en este proceso, posee propiedades volátiles y toxicocinéticas. Diversos organismos como la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (**ECHA**) y el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (**INSST**), advierten que una exposición prolongada por vía inhalatoria puede ocasionar efectos neurotóxicos, irritaciones en las mucosas y alteraciones en el sistema nervioso central, entre otros posibles daños hematológicos. Se han definido valores límite de exposición (VLE) que actúan como referencia para controlar estos riesgos. El cumplimiento de estos niveles requiere mediciones periódicas y medidas de prevención para proteger la salud de los trabajadores.

Además del riesgo químico por exposición al estireno, el mecanizado de materiales de poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) genera también **materia particulada** que pueden afectar a la salud respiratoria. Entre las patologías asociadas a este tipo de exposición se puede destacar la fibrosis pulmonar, la bronquitis crónica, así como irritaciones oculares y cutáneas. Es por ello que, organismos como la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) han clasificado determinadas fibras sintéticas como posibles agentes cancerígenos en humanos.

El presente trabajo consiste en **medir la concentración de estireno y partículas en suspensión** en el proceso de fabricación de PRFV en una empresa determinada. El objetivo es evaluar la exposición de los trabajadores y, en base a los resultados, plantear medidas preventivas y/o de control de acuerdo con la normativa vigente de higiene industrial.

2. INTRODUCCIÓN (Marco normativo).

2.1. Normativa de aplicación.

Dentro del campo de la higiene industrial, la evaluación del riesgo químico, en concreto la fabricación de perfiles de poliéster reforzado, está regulado por una serie de normativas para proteger a los trabajadores de la exposición a agentes químicos peligrosos, incluyen tanto las disposiciones europeas como las nacionales. Podemos encontrar diferentes normativas y leyes, como los límites de exposición profesional, el correcto almacenamiento y manipulación de productos químicos, etc. Estas normativas no solo garantizan la protección de los trabajadores, sino que también impulsan una producción más responsable, sostenible, alineada con los principios de calidad y protección ambiental.

2.1.1. Legislación nacional e internacional sobre agentes químicos.

- **Directiva 98/24/CE (22 de abril de 1998):** Protección de la salud y seguridad de los trabajadores frente a los riesgos relacionados con los agentes químicos en el trabajo.
- **Reglamento REACH (CE 1907/2006, 18 de diciembre de 2006):** Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de sustancias químicas en la UE.
- **Real Decreto 374/2001 de 6 de abril de 2001,** sobre la Protección de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición a agentes químicos durante el trabajo.
- **Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo** sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- **Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio,** por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización de equipos de trabajo.
- **Norma UNE-EN 689:2019:** Evaluación de la exposición por inhalación a agentes químicos para la comparación con los valores límites y estrategia de medición.
- **Norma UNE-EN 481:1995.** Atmósferas en los puestos de trabajo. Definición de las fracciones por el tamaño de las partículas para la medición de aerosoles.
- **Norma UNE-EN 482:2007.** Atmósferas en el lugar de trabajo. Requisitos generales relativos al funcionamiento de los procedimientos para la medición de agentes químicos.

- **Norma UNE-EN 13205:2002.** Atmósferas en el lugar de trabajo. Evaluación del funcionamiento de los instrumentos para la medición de concentraciones de aerosoles.

2.1.2. Normativa específica sobre estireno y partículas en suspensión.

- **Límites de exposición profesional (LEP) establecidos por el INSST (2025):**

Para la valoración de los resultados, se han utilizado los Valores Límites Ambientales (VLA) publicados por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (2025) del documento "Límites de Exposición Profesional para Agentes Químicos en España" (LEP).

- **Partículas en suspensión:** se seguirán los valores de referencia de polvo respirable e inhalable.

AGENTE QUÍMICO	Nº CAS	MEZCLA %	VLA-ED		VLA-EC		FRASES H
			ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³	
Partículas (insolubles o poco solubles) no especificadas de otra forma: Fracción inhalable.				10,00			

Tabla 1. LEP para Agentes químicos en España (2025) de partículas.

- **Estireno:** VLA-ED: 20 ppm (86 mg/m³), VLA-EC: 40 ppm (172 mg/m³).

Nº CE	Nº CAS	AGENTE QUÍMICO (año de incorporación o de actualización)	VALORES LÍMITE				NOTAS	INDICACIONES DE PELIGRO (H)	
			VLA-ED®		VLA-EC®				
			ppm	mg/m³	ppm	mg/m³			
		Estibamina	véase Hidruro de Antimonio						
202-851-5	100-42-5	Estireno	20	86	40	172	VLB®, ac	226-361d-332-372-319-315	

Tabla 2. LEP 2025 para el Estireno.

• CONTROL BIOLÓGICO

Debe considerarse complementario de la evaluación ambiental. En este caso, se considera necesaria su realización al existir la posibilidad de entrada al organismo por vía dérmica, además de la vía respiratoria habitual.

Valores Límite Biológicos:

Matriz	Indicador Biológico (IB)	VLB®	Momento de Muestreo	Notas	Año de incorporación o actualización
Orina	Ácido mandélico más ácido fenilglioxílico	400 mg/g creatinina	Final de la jornada laboral (2)	I	---
Sangre venosa	Estireno	0,2 mg/l	Final de la jornada laboral (2)	S	---

Tabla 3. VLB (LEP 2025) para el Estireno

Notas

(2)	Cuando el final de la exposición no coincida con el final de la jornada laboral, la muestra se tomará lo antes posible después de que cese la exposición real.
I	Significa que el indicador biológico es inespecífico puesto que puede encontrarse después de la exposición a otros agentes químicos.
S	Significa que el indicador biológico es un indicador de exposición al agente químico en cuestión, pero la interpretación cuantitativa de su medida es ambigua (semicuantitativa). Estos indicadores biológicos deben utilizarse como una prueba de selección (screening) cuando no se pueda realizar una prueba cuantitativa o usarse como prueba de confirmación, si la prueba cuantitativa no es específica y el origen del determinante es dudoso.

Tabla 4. Notas de la tabla 2 de los VLB.

• OSHA (Occupational Safety and Health Administration):

- Establece un límite de exposición permisible (PEL) de **100 ppm** para estireno en un período de 8 horas; de **200 ppm**, que nunca debe excederse; y de **600 ppm** como nivel máximo aceptable durante 5 minutos, que nunca debe excederse durante ningún periodo laboral de 3 horas.
- Para partículas en suspensión, OSHA define valores específicos según el tipo de polvo generado en el entorno laboral.

• NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health):

- Recomendaba un valor de exposición (REL) de **50 ppm** para estireno como promedio durante un turno laboral de 10 horas y de **100 ppm**, que no debe excederse durante ningún periodo laboral de 15 minutos.

- Establece directrices para minimizar la exposición a partículas, incluyendo la implementación de controles de ingeniería y el uso de equipos de protección adecuados.
- **ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists (Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales).**
El TLV es de **20 ppm** como promedio durante un turno laboral de 8 horas y el STEL es de **40 ppm**.
- **“Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos presentes en los lugares de trabajo relacionados con Agentes Químicos.**
- **CR-03/2006.** Toma de muestras de aerosoles. Muestreadores de la fracción inhalable de materia particulada. INSHT. Criterios y recomendaciones.
- **MTA/MA-014/A11.** Determinación de materia particulada (fracción inhalable, torácica y respirable) en aire- método gravimétrico.

2.1.3. NTP's

NTP 290: Exposición a compuestos orgánicos volátiles en el entorno laboral.

NTP 731: Evaluación de la exposición laboral a aerosoles (I): aspectos generales.

NTP 808: Exposición laboral a agentes químicos: requisitos de los procedimientos de medición.

NTP 740: Evaluación y prevención del riesgo por exposición a polvo y aerosoles en el trabajo.

3. OBJETIVOS.

3.1. Objetivo general.

El objeto del presente trabajo, tal y como ya se ha mencionado, es la realización de un estudio de la exposición **al estireno y partículas en suspensión** en el lugar de trabajo, concretamente, **en una empresa de fabricación de perfiles de poliéster reforzado**, a través de la identificación de fuentes de emisión, mediciones y el análisis del cumplimiento normativo, con el fin de reducir los efectos adversos en la salud de los trabajadores y obtener datos suficientes para poder establecer con criterio fundamentado una serie de medidas preventivas a aplicar.

3.2. Objetivos específicos.

- Describir el producto químico, sus propiedades físico-químicas y sus usos, así como su penetración en el organismo y su toxicidad.
- Identificar las fuentes de emisión de estireno y partículas en suspensión en cada una de las etapas del proceso productivo.
- Definir la estrategia de mediciones y realizar las mismas.
- Evaluar los resultados obtenidos.
- Examinar el grado de cumplimiento con la normativa vigente respecto a la exposición de estireno y partículas en suspensión.
- Proponer medidas preventivas para la eliminación y minimización de los riesgos higiénicos.

4. MATERIAL Y MÉTODOS.

4.1. Descripción de la empresa.

La empresa objeto de estudio cuenta con una instalación industrial especializada en la fabricación de perfiles de poliéster reforzado con fibra de vidrio mediante procesos de pultrusión, moldeo, laminado y mecanizado.

1. Área de Producción.

Esta zona se realiza la fabricación de los perfiles. Cuenta con:

- **Sección de pultrusión:** Línea de producción con estaciones de impregnación de fibras de vidrio en resina, curado térmico y conformado continuo de los perfiles.
- **Zona de laminado y moldeo:** Espacio donde se realizan refuerzos y acabados adicionales mediante técnicas de aplicación manual o automatizada.
- **Área de mecanizado:** Equipos para corte, perforación y ajuste final de los perfiles, con sistemas de aspiración para minimizar la dispersión de polvo y partículas.

Todas las secciones cuentan con suelos de materiales resistentes a productos químicos y de fácil limpieza, iluminación adecuada y señalización de seguridad.

2. Almacenes.

- **Materia prima:** Espacio cerrado y ventilado para el almacenamiento seguro de resinas, catalizadores y fibras de vidrio, con control de temperatura y medidas de prevención de derrames.
- **Producto terminado:** Zona separada y protegida contra humedad y polvo para la organización y despacho de los perfiles fabricados.

4. Zona de Mantenimiento.

Espacio destinado a la reparación de equipos utilizados en el proceso productivo, con:

- Taller equipado con herramientas especializadas para el mantenimiento de maquinaria.
- Limpieza de moldes.
- Depósito para almacenamiento de lubricantes, repuestos y productos de limpieza industrial.
- Área de residuos para la disposición adecuada de materiales de mantenimiento.

5. Sistemas de Ventilación y Control de Emisiones.

Para garantizar la seguridad del personal y la calidad del aire, las instalaciones cuentan con:

- La ventilación del local, es de ventilación natural en toda la nave por medio de cuatro grandes portones en su fachada principal. También se dispone de seis ventanas en la nave, a unos 4 m del suelo, permaneciendo abiertas de forma constante.
- La empresa cuenta con un sistema de ventilación industrial, aunque su eficiencia en la reducción de contaminantes es limitada:
 - Para la zona de mezcla se dispone de un sistema de aspiración con filtración, conectado sobre las mezcladoras en una cabina cerrada.
 - Para las zonas de corte con sistemas de aspiración.

7. Gestión de Residuos.

- Espacios designados para segregación y almacenamiento temporal de residuos industriales.
- Contenedores homologados para desechos peligrosos como solventes y residuos de resina.

La empresa tiene un total de 125 trabajadores, distribuidos en turnos de producción, mantenimiento y almacén.

4.2. Descripción del proceso productivo y puntos de emisión.

La fabricación de piezas de poliéster estratificado es un proceso en el cual un material se transforma en termoendurecible por aporte de diversos constituyentes que producen una reacción química exotérmica a través del método pultrusión.

La pultrusión es un procedimiento automatizado y continuo para elaborar perfiles de plástico reforzados con fibra de vidrio o carbono, obteniendo perfiles RFV o pultrusionados, compuesto por una matriz que son las resinas termoestables y por elementos de refuerzo que son las fibras. Este proceso consiste en el “arrastre” de las fibras vidrio se impregna con una resina líquida para luego transportarla a un molde a través de un procedimiento de tirado.

El molde contiene la forma que desea para obtener la pieza y, una vez que alcanza la longitud adecuada, se realiza el corte a la medida deseada, dando lugar a perfiles pultrusionados o pultruidos a partir de poliéster reforzado con fibra de vidrio fabricados a medida.

El proceso productivo comprende varias etapas, que se describen a continuación:

1. Inicio del proceso.

- Se elige el material de refuerzo (en este caso concreto es fibra de vidrio (RFV)) que va a permitir obtener propiedades mecánicas específicas.
- Después se eligen las materias primas: resinas, aditivos y cargas que garantizan las demás propiedades finales deseadas: resistencia química, reacción al fuego, color, resistencia a la radiación UV, etc.

Las materias primas que se utilizan son:

1.1 Resinas de Poliéster Insaturado: Base Química y Riesgos.

Soluciones poliméricas en monómeros reactivos (**principalmente estireno 30-45%**) sintetizadas por policondensación de:

- **Polioles:** Dietilenglicol (CAS 111-46-6), propilenglicol (CAS 57-55-6).
- **Ácidos orgánicos:** Ácido maleico (CAS 110-16-7), ácido ftálico (CAS 88-99-3).

Variantes Industriales:

- **Resinas ortoftálicas:** caracterizadas por su alta reactividad, comportamiento tixotrópico y preaceleración, que se presentan en estado líquido con una coloración opaca azulada.
 - Viscosidad 300-500 mPa·s (25°C).
 - Tixotropía >1.8 (índice tixotrópico ASTM D2196).
- **Alternativas: Resinas Low-Styrene™:**
 - Reducción de 54% en emisiones (BREF 2022 para Composite Materials).
- **Resinas ecológicas con parafinas:**
 - Disminución del 60% en emisiones de COV durante el curado
- **Carcinogenicidad:**
 - Asociación con leucemia y linfoma en estudios epidemiológicos.
 - Clasificación IARC 2B (evidencia limitada en humanos).
- **Neurotoxicidad:**
 - Depresión del SNC a >50 ppm (alteración tiempos de reacción).

Clasificación Toxicológica:

Parámetro	Valor	Fuente Normativa
Límite OEL (Estireno)	20 ppm (VLA-ED España)	INSST 2025
LD50 (oral, rata)	2,650 mg/kg	ECHA
Carcinogenicidad	Grupo 2B (IARC, 2019)	----

Tabla 5 Clasificación toxicológica de resinas de poliéster insaturado.

No obstante, se han desarrollado resinas con aditivos parafínicos, denominadas "ecológicas", que reducen la emisión de vapores de estireno.

Nota: las categorías de peligrosidad del Estireno se evaluarán con más detalle en el punto 4.6 del presente trabajo.

1.2. Sistema de Curado: Acelerantes y Catalizadores.

A. Acelerantes (Cobalto/Aminas):

- **Mecanismo:** Reducción del tiempo de gelificación (de 60 a 15 min con 1.5% octoato de Co).
- **Riesgos Laborales:**
 - **Cobalto (Co²⁺):**
 - Límite biológico: 15 µg/L en orina (ACGIH 2023).
 - Efecto nefrotóxico (Malik et al., Toxicology Reports, 2022).
 - **Efectos dermatológicos:** Quemaduras químicas por contacto directo (casos reportados con octoato de Co).
 - **Dimetilacetilacetona (DMAE):**
 - VLA-EC: 5 ppm (OSHA PEL).

B. Catalizadores Peróxidos:

- **MEKP (peróxido de metiletilcetona):** (CAS 1338-23-4):
 - Dosificación típica: 1.5-2.5% peso/resina.
 - Alerta técnica: Incompatible con aminas (riesgo de ignición espontánea).
 - **Clasificación CLP:**
 - H242: Libera oxígeno, agrava incendios.
 - H318: Daño ocular grave.

- **Riesgo explosivo:**
 - Descomposición térmica $>100^{\circ}\text{C}$ libera radicales libres.
- **Protección ocular:**
 - Daño corneal irreversible en exposiciones >15 min (CLP H318).

La exposición a catalizadores en fase polvo, comúnmente utilizados en procesos industriales como la fabricación de resinas, está asociada a riesgos de hipersensibilidad y alergias ocupacionales.

Los estudios científicos destacan los siguientes puntos clave:

Mecanismos de hipersensibilidad a Catalizadores.

- **Composición química:**
 - Catalizadores como octoato de cobalto (usado en resinas de poliéster) o sales metálicas (ej. $\text{Cu}(\text{acac})_2$ en resinas cianato éster) son potentes sensibilizantes cutáneos y respiratorios.
 - Partículas respirables ($<10\text{ }\mu\text{m}$) penetran en vías aéreas, desencadenando reacciones inmunitarias.
- **Riesgo acumulativo:**

Exposiciones repetidas aumentan la probabilidad de alergias, incluso a bajas concentraciones (estudios en trabajadores textiles muestran dermatitis por metales en catalizadores).

1.3. Materiales de Refuerzo y Riesgos Asociados.

Para hacer que las piezas fabricadas sean resistentes, se utilizan materiales de refuerzo. Se pueden aplicar manualmente en tiras o mantas, o con sistemas de proyección que combinan la fibra cortada y la resina utilizando una pistola. **La fibra de vidrio** es la más se utiliza, aunque en casos más específicos se puede utilizar las fibras de carbono u otros materiales que tienen un buen rendimiento.



Figura 2. Fibras de refuerzo.

La fibra de vidrio se debe almacenar en su embalaje original, en un lugar seco, a una temperatura entre $10\text{-}35^{\circ}\text{C}$ y con una humedad relativa del 35 al 85%. Si ha estado a temperaturas más frías, se recomienda su aclimatación en el área de trabajo durante al

menos 24 horas antes de utilizarla, así se evita que se forme condensación debido a los cambios bruscos de temperatura.

Nota: Corresponde al punto 2 de la figura 2.

Fibra de Vidrio E-CR (resistencia eléctrica/química):

- **Composición:** SiO_2 (52-56%), Al_2O_3 (12-16%).
- **Riesgos:**
 - Partículas respirables PM_{10} (ISO 7708:1995): TLV®: 1 fibra/cm³ (ACGIH 2023).
 - Dermatitis ocupacional: 23% incidencia en operarios (NIOSH Health Hazard Evaluation, 2021).
- **Protocolos de Manipulación:**

Sistemas de aspiración HEPA Clase H13 (EN 1822-1:2019).
- **Protocolos de almacenamiento:**

Humedad relativa >60% reduce dispersión de fibras durante el corte.

1.4. Aditivos Funcionales: Cargas y Disolventes.

Para optimizar la aplicación de la resina sobre superficies inclinadas o verticales, se incorporan sustancias tixotrópicas, como la sílice coloidal, que modifican su comportamiento reológico y mejoran su adherencia.

A. Sílice Tixotrópica (CAS 112945-52-5):

- Dosificación: 3-8% peso/resina.
- Riesgo silicosis:
 - NIOSH REL: 0,05 mg/m³ (fracción respirable).
 - Dosis acumulativa crítica: 0,3 mg/m³·año (Directiva 2004/37/CE).

B. Disolventes Volátiles:

Los disolventes cumplen funciones esenciales en la formulación de resinas, ajustando su viscosidad y facilitando la limpieza del utillaje. Entre los más empleados en la industria destacan la acetona y el acetato de etilo, debido a su alta volatilidad y capacidad de disolución.

Disolvente	Punto de Inflamación	(NIOSH)
Acetona	-20°C	2.500 ppm

Disolvente	Punto de Inflamación	(NIOSH)
Acetato de etilo	-4°C	1.600 ppm

Tabla 6 Características de los disolventes volátiles.

Acetona (CAS 67-64-1):

- **TLV-TWA:** 500 ppm (NIOSH 2023).
- **Impacto ambiental:** Potencial de oxidación fotoquímica 3,2 kg eq. etileno (Análisis LCA)

2. Preparación de la mezcla de resina y catalizadores.

- En una mezcladora: se prepara una mezcla de agentes químicos (resinas de poliéster insaturado) con agentes catalizadores y aditivos, produciendo emisiones de vapores de estireno.
- Adición de cargas y pigmentos si es necesario.
- Agitación y homogeneización en tanques de mezcla.
- De la observación del proceso se desprende que el foco de emisión de contaminantes más importantes está en la zona de preparación de mezclas, ya que se unen las diferentes partes del preparado (en unas proporciones definidas) y se mezclan, generándose vapores en el proceso.
- En la zona de mezcla hay un sistema de aspiración con filtración, conectado sobre las mezcladoras en una cabina cerrada.
- Nota: Es punto 2 de la figura 2.

3. Líneas de perfiles.

- Se lleva el preparado al comienzo de la línea de perfiles.
- A las líneas de perfiles se les conectan unas bobinas de hilo de fibra de vidrio que va tirando de ella a lo largo de toda la línea.
- Las líneas de pultrusionado, una vez alimentadas funcionan casi en automático, acercándose el trabajador de tanto en tanto para comprobar su correcto funcionamiento.

4. Laminado y moldeo.

- Aplicación de la resina sobre moldes con refuerzo de fibra de vidrio mediante métodos como moldeo abierto, la proyección simultánea o el moldeo manual o pultrusión.

- La totalidad de los elementos de refuerzo que se someten a un proceso de estirado continuo se quedan distribuidos por toda la sección del perfil. Las fibras son total o parcialmente mojadas por resina. La masa de fibra y resina, adecuadamente preformada y estirada, entra en el molde donde se compacta el composite.
- En esta etapa, se generan emisiones de estireno y partículas de refuerzo desprendidas durante la manipulación.
- Nota: Es punto 3 de la figura 2.

5. Curado del material.

- Polimerización de la resina mediante temperatura controlada o catalización química.
- El calor del molde permite hacer el endurecimiento/curado de la resina por el proceso de polimerización dando a los pultrusionados su elevada resistencia química. Las características del molde determinan la figura del perfil, así como el acabado superficial.
- Finalmente, a la salida del molde se obtiene una pieza termoestable con elemento estructural pre-esforzado, totalmente terminada y con las propiedades físicas y químicas previamente determinadas.
- Emisión de vapores de estireno en la reacción química.

6. Desmoldeo.

- Separación del perfil curado del molde.
- Nota: Es punto 4 de la figura 2.

7. Corte/ recorte.

- Corte del perfil al largo deseado con equipos de corte al agua o sierras de corte circular (momento que se desprende más partículas en suspensión)
- Eliminación de excedentes de material mediante corte y desbaste.
- Nota: Es punto 5 de la figura 2.

8. Lijado y acabado.

- Proceso de mecanizado (pulido y perfilado) para eliminar las imperfecciones del corte para dar forma final a los perfiles y una terminación en recto.
- Es la etapa con mayor generación de partículas en suspensión, que pueden incluir restos de fibra de vidrio y resina curada.

9. Inspección de calidad y almacenamiento.

- Verificación de dimensiones y resistencia mecánica.
- Embalaje y almacenamiento para distribución.

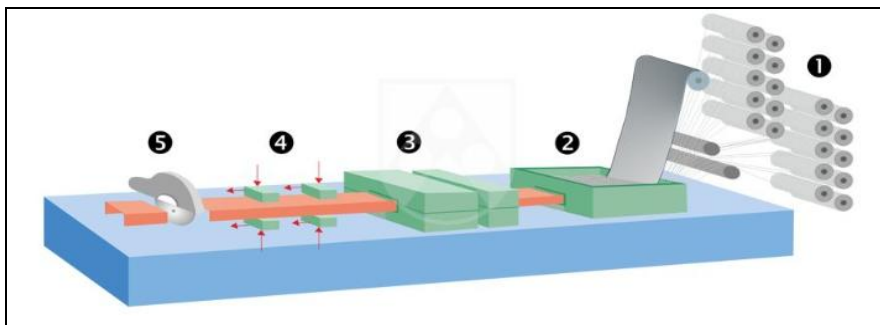


Figura 3. Proceso de pultrusión.

4.3. Puestos de trabajo en la empresa.

Área	Puesto	Funciones principales	Nº personas
Producción	Operador de Pultrusión.	- Manejo de maquinaria de pultrusión, control de temperatura y velocidad, inspección de calidad.	90 (30 por turno)
	Laminador / Operador de Moldeo.	- Preparación de las mezclas y compuestos necesarios para los distintos perfiles. - Aplicación de resinas y fibras de vidrio, control de curado.	6 (2 por turno)
	Operador de Mecanizado.	- Operación de equipos de corte y rectificado. - Ajustes de perfiles. - Mantenimiento de herramientas.	6 (2 por turno)
	Operador de Calidad	Verificación de dimensiones y resistencia de productos, inspecciones visuales, reportes de calidad.	3 (1 por turno)
Mantenimiento	Técnico de Mantenimiento Mecánico	- Revisión y reparación de maquinaria de pultrusión y mecanizado. - Mantenimiento correctivo y preventivo. - Limpieza de los moldes.	6 (2 por turno)

Área	Puesto	Funciones principales	Nº personas
	Técnico de Mantenimiento Eléctrico	Diagnóstico y reparación de sistemas eléctricos.	6 (2 por turno)
Almacén	Encargado de Almacén	Organización y control de inventarios, recepción de materias primas, despacho de productos.	2 (1 turno mañana y 1 tarde)
	Operario de almacén	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de equipos de trabajo para la manipulación de cargas (transpaletas manuales, carretillas manuales, carretillas elevadoras). - Mantenimiento de equipos de elevación. - Limpieza de los equipos. 	6 (2 por turno)

Tabla 7. Puestos de trabajo en la empresa por áreas y funciones.

4.4. Trabajadores afectados (a fecha de la medición).

Los puestos de trabajo varían según la fase de producción y el tipo de exposición a los riesgos. Los principales puestos afectados por la exposición a estireno (un compuesto orgánico volátil, COV) y partículas son los que están directamente involucrados en el proceso de fabricación, los focos de emisión de contaminantes más importantes son:

- **Estireno:** En las etapas de preparación de resinas y moldeo.
- **Partículas en suspensión:** En el corte y rectificado de los perfiles.

Los trabajadores que están directamente afectados por la exposición al estireno y partículas en esta fábrica de perfiles de poliéster reforzado son:

Trabajadores expuestos al riesgo químico (Estireno):

- **Operadores de moldeo y laminado:** Estos trabajadores son los más expuestos al riesgo de inhalación de vapores de estireno durante la preparación de mezclas y compuestos, el proceso de resinado y curado, especialmente si no se cuenta con un sistema adecuado de extracción o ventilación.

Trabajadores expuestos a partículas (materiales sólidos y polvo de resina):

- **Operadores de mecanizado:** Expuestos a las partículas generadas por el corte, lijado o manipulación de las piezas de poliéster reforzado, lo que podría causar riesgos respiratorios o problemas dermatológicos.

En el anexo 5 se adjunta un listado de trabajadores afectados el día de la medición.

4.5. Horario de trabajo.

Los trabajadores están en tres turnos rotativos de 8 horas:


- Primer turno de 7:00 AM a 15:00 PM,
- Segundo turno de: 15:00 PM a 23:00 PM y
- Tercer turno de: 23:00 PM a 7:00 PM).
- La jornada laboral es de 7,5 horas más una pausa de 30 minutos, a la mitad de la misma, para el almuerzo/merienda/cena.
- La jornada laboral es de 40 horas semanales, los diferentes trabajadores emplean:

TAREAS	HORAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Tarea: Mezcla y preparación.								
Tarea: Recarga de materias primas, supervisión de líneas, preparación de pedidos, limpieza zonas de trabajo.								
Tarea: Corte.								
Tarea: Perfilado.								

Tabla 8. Detalle de las actividades que realizan, así como la frecuencia y duración de las mismas.

Leyenda:

 Tarea.

 Tiempo no asignado a la tarea.

Notas:

1. La tarea de mezcla y preparación ocupa las primeras 2 horas del día.
2. Las tareas de recarga de materias primas, supervisiones líneas, preparación pedidos, limpieza zonas de trabajo, ocupan 6 horas, después de la mezcla y preparación.
3. Tarea de corte se ha colocado en paralelo con la mezcla y preparación, asumiendo que pueden realizarse simultáneamente por diferentes trabajadores.

4. Tarea de perfilado se muestra con una duración de 4 horas (el máximo del rango dado), comenzando al inicio del día.
5. Este diagrama asume que algunas tareas pueden realizarse simultáneamente por diferentes trabajadores o en diferentes áreas de la planta.

4.6. Caracterización de los agentes químicos evaluados.

Es necesario identificar los agentes químicos presentes en el entorno de trabajo para poder evaluar los riesgos químicos, teniendo en cuenta sus propiedades fisicoquímicas y los efectos sobre la salud de los trabajadores expuestos. En los procesos de la fabricación de perfiles de poliéster reforzado con fibra de vidrio, los agentes que se han evaluado son: **el estireno** que es un compuesto orgánico volátil presente en la resina de poliéster, y las **partículas en suspensión** liberadas al manipular el material en las tareas de cortar, lijar o moldear.

Al analizar estos compuestos, se evalúa el nivel de exposición, la peligrosidad y se establecen las medidas de prevención eficaces. A continuación, en los apartados siguientes se describen las propiedades del **estireno** como las características de las **partículas en suspensión**.

4.6.1. Propiedades de la resina de poliéster (estireno).

Descripción química: Resina poliéster insaturado.

Componentes:

De acuerdo al Anexo II del Reglamento (CE) nº1907/2006 (punto 3), el producto presenta:


Identificación	Nombre químico/clasificación		Concentración
CAS: 100-42-5	Estireno ¹ ATP ATP06		20 - <25 %
CE: 202-851-5	Reglamento 1272/2008	Acute Tox. 4: H332; Eye Irrit. 2: H319; Flam. Liq. 3: H226; Repr. 2: H361; Skin Irrit. 2: H315; STOT RE 1: H372 - Peligro	
Index: 601-026-00-0			
REACH: 01-2119457861-32-XXXX			
			

Tabla 9. Identificación de la resina de poliéster insaturado.

¹ Sustancia que presentan un riesgo para la salud o el medio ambiente que cumple los criterios recogidos en el Reglamento (UE) nº 2015/830.

El **estireno (C₈H₈)** es un compuesto aromático insaturado de la familia de los hidrocarburos, utilizado principalmente en la fabricación de polímeros, como el poliestireno y los poliésteres reforzados con fibra de vidrio. Debido a su amplio uso industrial, el estireno constituye un riesgo potencial para los trabajadores expuestos durante el proceso de producción.

Indicaciones de peligro:

- Acute Tox. 4: H332 - Nocivo en caso de inhalación.
- Eye Irrit. 2: H319 - Provoca irritación ocular grave.
- Flam. Liq. 3: H226 - Líquidos y vapores inflamables.
- Repr. 2: H361 - Se sospecha que puede perjudicar la fertilidad o dañar el feto.
- Skin Irrit. 2: H315 - Provoca irritación cutánea.
- STOT RE 1: H372 - Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

Consejos de prudencia:

- P101: Si se necesita consejo médico, tener a mano el envase o la etiqueta.
- P102: Mantener fuera del alcance de los niños.
- P210: Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición.
- P264: Lavarse concienzudamente tras la manipulación.
- P280: Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.
- P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.
- P370+P378: En caso de incendio: Utilizar extintor de polvo ABC para la extinción.
- P501: Eliminar el contenido/el recipiente mediante el sistema de recogida selectiva habilitado en su municipio.

Propiedades físico-químicas del Estireno se recogen a continuación:

PROPIEDAD	VALOR
Estado físico	líquido
Color	incolor
Olor	levemente dulce
Punto de fusión/punto de congelación	-31 °C (ECHA)
Punto de ebullición o punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición.	145 °C a 1.013 hPa (ECHA)

Inflamabilidad	líquido inflamable conforme con los criterios del SGA
Límite superior e inferior de explosividad	45 g/m ³ (LIE) - 350 g/m ³ (LSE) / 1,2 % vol (LIE) - 8,9 % vol (LSE)
Punto de inflamación	31 °C a 1.013 hPa (ECHA)
Temperatura de auto-inflamación	490 °C a 1.013 hPa (ECHA) (temperatura de autoinflamación (líquidos y gases))
Temperatura de descomposición	
pH (valor)	no relevantes
Viscosidad cinemática	no determinado
Viscosidad dinámica	0,77 mm ² /s a 25 °C 0,696 mPa s a 25 °
<u>Solubilidad(es)</u>	
Hidrosolubilidad	0,32 g/l a 25 °C (ECHA)
<u>Coeficiente de reparto</u>	
Coeficiente de reparto n-octanol/agua (valor logarítmico):	2,96 (25 °C) (ECHA)
Carbono orgánico en el suelo/agua (log KOC)	2,55 (ECHA) 6,67 hPa a 20 °C
Presión de vapor	
<u>Densidad y/o densidad relativa</u>	0,9 g/cm ³ a 20 °C
Densidad	3,6 (aire = 1)
Densidad de vapor	

Tabla 10. Propiedades físico-químicas del Estireno.

Principales efectos del estireno.

En cuanto a su catalogación como **enfermedad profesional**, el estireno se encuentra incluido en el **Real Decreto 1299/2006**, que aprueba el cuadro de enfermedades profesionales en el sistema de la Seguridad Social. Específicamente Anexo I, Cuadro de enfermedades profesionales:

- Grupo 1: Enfermedades profesionales causadas por agentes químicos.
- Agente: Estireno y sus compuestos.

El RD no menciona específicamente el polímero de estireno, pero sí incluye el estireno y sus compuestos como agentes causantes de enfermedades profesionales. Esto implica que las patologías derivadas de la exposición laboral al estireno están reconocidas como enfermedades profesionales.

El estireno es un solvente aromático con efectos sobre el sistema nervioso central, pudiendo provocar:

- **Efectos agudos sobre la salud.**

Los siguientes efectos agudos (a corto plazo) sobre la salud pueden ocurrir inmediatamente o poco después de la exposición al **óxido de estireno**:

- El contacto puede irritar la piel y los ojos.
- La inhalación de **óxido de estireno** puede irritar la nariz, la garganta y el pulmón, causando tos, respiración con silbido y falta de aire.
- La exposición puede causar dolor de cabeza, náusea, vómitos, mareo, sensación de desvanecimiento y desmayo.

- **Efectos crónicos sobre la salud.**

Los siguientes efectos crónicos (a largo plazo) sobre la salud pueden ocurrir algún tiempo después de la exposición al **óxido de estireno** y pueden durar meses o años.

- **Riesgo de cáncer.**

- El **óxido de estireno** es un PROBABLE CARCINÓGENO humano, ya que se ha demostrado que causa cáncer de hígado en animales.
- Cáncer según la IARC (Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer) (Grupo 2B: posiblemente carcinogénico).

- **Riesgo para la salud reproductiva.**

- El **óxido de estireno** podría causar daño al feto en desarrollo.

- **Otros efectos.**

- El **óxido de estireno** podría causar alergia en la piel. Si ocurre una reacción alérgica, la exposición posterior muy baja puede causar picazón y erupciones.
- El **óxido de estireno** podría afectar al hígado.

4.6.2. Características de las partículas en suspensión.

Las **partículas en suspensión** generadas en los procesos de fabricación de perfiles de poliéster reforzado son una mezcla heterogénea de partículas finas que pueden incluir polvo de resina, fragmentos de materiales compuestos y partículas generadas por el corte, lijado y manipulación de las piezas. Estas partículas presentan un riesgo para la salud debido a su capacidad para ser inhaladas y depositarse en las vías respiratorias.

- **Tamaño de las partículas:** El tamaño de las partículas es crucial para evaluar su peligrosidad. Las partículas respirables (PM10, PM4 y PM2.5) son las que representan un mayor riesgo para la salud respiratoria, ya que pueden penetrar en los pulmones y afectar las vías respiratorias inferiores. El polvo generado en este proceso generalmente se encuentra en el rango de **0.1 μm a 100 μm** .
- **Distribución granulométrica:** Las partículas más finas (menores a 10 micrómetros) son las que se mantienen suspendidas por más tiempo en el aire y tienen mayor capacidad para ser inhaladas, lo que aumenta el riesgo de enfermedades respiratorias. La fracción fina (<2.5 μm) es la más peligrosa debido a su capacidad de penetrar profundamente en los pulmones.

Principales efectos de las partículas en suspensión.

- Pueden causar afecciones respiratorias como bronquitis crónica y fibrosis pulmonar.
- La exposición prolongada a partículas de fibra de vidrio podría generar irritación pulmonar y cutánea.
- Pequeñas partículas (< PM10 o PM2.5) pueden ingresar en los pulmones y afectar el sistema cardiovascular.

4.7. Descripción de las tareas desarrolladas durante la medición.

Los trabajadores pueden estar expuestos a riesgos de exposición de contaminantes durante las operaciones de preparación de la mezcla, mezclado y alimentación del producto en la maquinaria de pultrusión.

A continuación, se detallan las tareas implicadas y los riesgos potenciales asociados al **Estireno**.

TAREA 1: Preparación de la Mezcla. En esta fase, los operarios realizan la formulación de la mezcla mediante la adición controlada de los distintos compuestos a la mezcladora, respetando las dosificaciones establecidas por la empresa conforme a los requisitos técnicos de los perfiles a fabricar.

- **Duración estimada:** Aproximadamente 30 minutos.
- **Materiales utilizados:** Bidones de 1000 L y envases de 5 a 25 kg.
- **Procedimiento:**
 - Los compuestos se almacenan en las proximidades del área de trabajo.
 - Los operarios dosifican y vierten los componentes a la mezcladora según el orden y cantidades especificadas.
 - Se verifica la correcta disolución de cada sustancia antes de proceder a la siguiente etapa del proceso.
 - Una vez concluida la adición de los ingredientes, el operario se desplaza a realizar otras tareas dentro de la planta.
- **Riesgo asociado:**
 - Exposición a agentes químicos volátiles (principalmente estireno).

Para evaluar la temperatura en el proceso de preparación de la mezcla en pultrusión y su impacto en la volatilización del estireno, se han considerado los siguientes aspectos:

- **Condiciones de almacenamiento y manipulación de los compuestos.**

La temperatura de almacenamiento de los bidones y envases no se mantienen dentro de los rangos recomendados por el fabricante, generalmente entre **15 °C y 25 °C**, para evitar un aumento en la presión de vapor del estireno. Dicho almacenamiento se realiza a temperatura ambiente sin un sistema de climatización y sin sensores de temperatura. Utilizan recipientes herméticos para minimizar la emisión de vapores.

- **Monitoreo de temperatura en la mezcladora.**

Durante la preparación de la mezcla, la temperatura en la cámara de mezclado no se controla para evitar una evaporación excesiva del estireno. Se observa la ausencia de: termopares tipo K o sensores PT100 para la medición continua de temperatura en la mezcladora.

Es crítico que la temperatura del sistema no supere los 30-35 °C, ya que a partir de este punto la presión de vapor del estireno aumenta significativamente, incrementando el riesgo de exposición.

- **Evaluación de la ventilación y dispersión térmica.**

Esta área de trabajo cuenta con un sistema de extracción localizada con un caudal insuficiente para capturar los vapores de estireno antes de que se dispersen. Se detalla sus características en el punto 4.9 Medidas preventivas adaptadas en la empresa de este trabajo.

TAREA 2: Alimentación de la Mezcla a los Equipos de Pultrusión.

Una vez preparada la mezcla, los operarios realizan el trasvase parcial del contenido a bidones de 5 L y su posterior traslado hasta el inicio de las líneas de pultrusión. En esta fase, la mezcla se vierte en bandejas de impregnación, donde los hilos de refuerzo se impregnan antes de ingresar en el molde caliente que les conferirá la geometría final.

- **Duración estimada:** Aproximadamente 10 minutos por línea de trabajo.
- **Operatividad:** Cada operario gestiona simultáneamente entre 2 y 3 máquinas.
- **Procedimiento:**
 - Transferencia de la mezcla en bidones de menor capacidad.
 - Alimentación de la mezcla a las bandejas de impregnación de los hilos de refuerzo.
 - Supervisión del proceso para garantizar una impregnación homogénea.
- **Riesgo Asociado:**
 - Inhalación de vapores provenientes de la mezcla (principalmente estireno).

A continuación, se detallan las tareas implicadas y los riesgos potenciales asociados a las **partículas en suspensión**.

TAREA 3: Corte de Piezas El proceso de corte mediante tecnología de chorro de agua consiste en la introducción de los perfiles en la zona de corte, acción del equipo de corte y retirada de las piezas procesadas.

- **Frecuencia de corte:** 1 corte cada 2 minutos (1 c/2 min).
- **Tiempo efectivo de corte:** Aproximadamente 30 segundos por pieza, dedicando el tiempo restante a la retirada y colocación de nuevas piezas, así como a su medición. Como mucho se llega a realizar unos 280 cortes por jornada de trabajo (280 c / 8h), no obstante, normalmente no se trabaja en esta tarea **más de dos horas diarias** dado que para su realización requiere de tener ya preparados todos los materiales a cortar.
- **Procedimiento:**
 - Verificación del nivel de agua en el equipo antes del inicio de las operaciones.
 - Introducción del perfil en la zona de corte.

- Accionamiento del sistema de corte y supervisión del proceso.
- Extracción y manipulación de la pieza cortada.
- **Riesgo Asociado:**
 - Exposición a partículas en suspensión.

TAREA 4: Rectificado de Piezas El proceso de rectificado se realiza para asegurar un acabado en línea recta de los perfiles. Para ello, los operarios introducen las piezas en la zona de rectificado y supervisan el proceso.

- **Frecuencia de operación:** Entre 2 y 4 horas diarias, dependiendo de la demanda del producto. **En algunas semanas, esta tarea no se realiza.**
- **Procedimiento:**
 - Activación del equipo de rectificado y del sistema de aspiración al inicio del trabajo.
 - Introducción de los perfiles en la máquina.
 - Supervisión del proceso para garantizar la calidad del acabado.
 - Desactivación del equipo y del sistema de aspiración al finalizar la operación.
- **Riesgo Asociado:**
 - Exposición a polvo generado en el rectificado.

A continuación, se puede resumir en la siguiente tabla:

TAREA	FRECUENCIA	DURACIÓN
TAREA 1	Diaria	30 min
TAREA 2	Diaria	10 min
TAREA 3	Diaria	2 h
TAREA 4	Variable	2-4 h

Tabla 11. Tarea con su duración de tiempo.

En el anexo 5 de este documento se adjunta un plano de las instalaciones y punto de muestreo de los contaminantes químicos.

4.8. Equipos de protección individual.

De acuerdo con el **Real Decreto 773/1997**, que establece los requisitos mínimos de seguridad y salud en la utilización de equipos de protección individual (EPI), es imprescindible implementar un sistema de protección adecuado para minimizar la exposición de los trabajadores a agentes químicos volátiles como el estireno, así como a otros riesgos derivados de la manipulación de resinas y catalizadores en el proceso de pultrusión. Para ello son necesarios:

- **Protección Respiratoria.**

El estireno presenta una presión de vapor que puede generar concentraciones ambientales significativas, especialmente en condiciones de ventilación inadecuada o en procesos de alta temperatura. Para la mitigación de este riesgo, se deben emplear:

- **Máscaras autofiltrantes FFP2 o FFP3** (según **EN 149:2001 + A1:2009**) en exposiciones moderadas.
- **Respiradores de media máscara o máscara completa con filtros A2 P3** (según **EN 140 y EN 14387**) en escenarios donde la concentración de vapores pueda superar los valores límite ambientales (VLA) establecidos por normativas como la **ACGIH (20 ppm TWA) o la OSHA (50 ppm TWA)**.
- **EN 371**: Filtros de gas AX y filtros combinados contra compuestos orgánicos de bajo punto de ebullición (<65°). Estos cartuchos son para un solo uso.

El uso de respiradores debe estar acompañado de un programa de ajuste y mantenimiento conforme a la **ISO 16975-3:2017** para garantizar su eficacia.

- **Protección Ocular y Facial.**

El contacto con vapores de estireno y la posible proyección de resinas durante la manipulación de la mezcla exigen la implementación de dispositivos de protección ocular y facial:

- **Gafas de seguridad con protección lateral** (según **EN 166:2001, clase óptica 1**) para tareas generales.
- **Pantallas faciales de policarbonato o acetato (EN 166, resistencia química clase 3 y 4)** en operaciones de mezcla y dosificación para evitar salpicaduras.

Estos equipos deben garantizar una adecuada compatibilidad con la protección respiratoria para evitar interferencias en el sellado de las máscaras.

- **Protección Dérmica (Manos y Cuerpo).**

La manipulación de resinas, catalizadores y disolventes exige una protección cutánea efectiva para prevenir dermatitis de contacto o sensibilización química:

- **Guantes de protección química según EN ISO 374-1:2016 (Tipo A)**, con materiales de **nitrilo, butilo o laminados de PE/EVOH/PE**. Se recomienda un **espesor ≥ 0.4 mm** y un **tiempo de permeación superior a 240 min** para garantizar una barrera efectiva frente a compuestos orgánicos.
- **Guantes de protección contra riesgos mecánicos** incluidos en el ámbito de aplicación de la Norma **UNE-EN388:2016+A1:2018** (en adelante **UNE-EN 388**).
- **Ropa de protección química Tipo 6 (EN ISO 13034:2005+A1:2009)** con propiedades hidrófugas y antiestáticas, preferentemente confeccionada con fibras de aramida o poliéster recubierto de poliuretano, optimizando la resistencia a la penetración de líquidos y vapores.

- **Protección de Pies.**

El contacto accidental con derrames de resinas y catalizadores puede comprometer la integridad de los trabajadores, por lo que se recomienda:

- **Calzado de seguridad con puntera reforzada y suela resistente a agentes químicos (según EN ISO 20345:2011, S3 o S4)**. Se sugiere el uso de materiales como caucho nitrílico o poliuretano para una resistencia química optimizada.
- **Calzado protector frente a productos químicos:** norma **UNE-EN 13832-2:2020**.

- **Consideraciones Adicionales Conforme al RD 773/1997.**

- **Selección basada en evaluación de riesgos:** Los EPI deben elegirse en función de un análisis técnico que contemple los niveles de exposición, tiempo de uso y compatibilidad con otros equipos.
- **Mantenimiento y control de calidad:** Los dispositivos deben someterse a inspecciones periódicas conforme a la **ISO 2859-1:2012** para garantizar su funcionalidad y reemplazo oportuno.
- **Formación y concienciación:** Es obligatorio proporcionar entrenamiento específico sobre el uso, ajuste y limitaciones de los EPIs según la **ISO 45001:2018**.

Durante la realización de sus tareas los trabajadores hacen uso de los siguientes equipos de protección individual:

PUESTO	PRODUCCIÓN	
Equipos de Protección individual	Categoría	Euronorma
Gafas de seguridad contra salpicaduras.	2	EN 166
Mascarilla con filtro para productos químicos.	3	EN 140 + EN 371
Mascarilla con filtro para polvo FFP2.	2	EN 149
Guantes contra agresivos mecánicos.	1	EN 388
Guantes contra agresivos químicos.	2	EN 374
Calzado de seguridad con puntera reforzada.	2	EN 20345
Calzado protector frente a productos químicos.	2	EN 13832

Tabla 12. Equipos de protección individual.

Los equipos de protección son entregados anualmente y siempre que el trabajador los solicite, por su deterioro o haberlos gastado. Se incluye en el anexo 3 un modelo de formato para la entrega y recepción de Equipos de Protección Individual (EPI) al trabajador. Este documento permite llevar un control detallado de los EPIs asignados, asegurando el cumplimiento de las normativas de seguridad y salud en el trabajo.

4.9. Medidas preventivas adoptadas en la empresa.

ESTIRENO:

- El área de trabajo dispone de un sistema de extracción localizada instalado junto a los equipos de mezclado. con un caudal no suficiente para capturar los vapores de estireno antes de que se dispersen. Se recomienda:
 - ✓ Calcular la velocidad de captura en la campana de extracción (tiene que ser > 0,5 m/s en el punto de emisión).
 - ✓ Análisis de dispersión de vapores mediante simulaciones CFD (Computational Fluid Dynamics) para evaluar la eficiencia del sistema de ventilación.
- Los envases con los que se transporta la mezcla desde el equipo de mezclado hasta los equipos de pultrusionado permanecen cerrados con tapadera, reduciendo emisiones al ambiente.
- Se dispone de un procedimiento de limpieza del centro a la finalización de la jornada.

CONSIDERACIONES TÉCNICAS QUE SE RECOMIENDAN PARA EL CONTROL DE VAPORES DE ESTIRENO MEDIANTE SISTEMAS DE VENTILACIÓN.

La implementación de cabinas de ventilación constituye el método más eficiente para garantizar un control efectivo de la exposición a vapores de estireno, al confinar la actividad dentro de un entorno controlado y evitar la dispersión de contaminantes hacia otras áreas de trabajo. No obstante, la viabilidad de este enfoque está condicionada por las dimensiones y geometría de los productos fabricados, lo que puede requerir el empleo de soluciones alternativas o complementarias.

Por lo tanto, la selección e integración de sistemas de ventilación debe responder a un análisis técnico detallado, considerando el nivel de riesgo laboral, las características del proceso productivo y las especificaciones dimensionales de las piezas en fabricación.

Diseño y Planificación de Sistemas de Ventilación.

Para lograr una reducción efectiva de las concentraciones de estireno en el ambiente laboral, los sistemas de ventilación deben ser diseñados y optimizados, tomando en cuenta la naturaleza del proceso industrial. Factores críticos que se incluyen:

- La **geometría de las piezas** y su influencia en la dispersión de vapores.
- El **caudal de extracción** necesario para mantener concentraciones por debajo de los valores límite ambientales.
- La interacción entre la ventilación y las propiedades reológicas de la resina, ya que un control deficiente podría alterar la calidad del producto.

Es fundamental considerar que velocidades de aire **inferiores a 0,3 m/s** pueden resultar ineficaces en la captura de vapores de estireno, mientras que velocidades excesivas pueden incrementar la tasa de evaporación, afectando la polimerización de la resina y comprometiendo la integridad estructural del producto final.

1. Cabina Cerrada con Ventilación Controlada.

Este sistema consiste en un **recinto completamente sellado**, diseñado para minimizar la exposición del operador y optimizar la extracción de vapores. Sus principales características incluyen:

- **Flujo de ventilación predominantemente vertical**, con configuraciones oblicuas y suplementarias según los requerimientos geométricos del producto.

- **Extracción localizada en la parte inferior**, garantizando una dirección de flujo que optimiza la captura de contaminantes antes de que alcancen la zona respiratoria del operario.
- **Velocidades de aire de 0,3 m/s a 0,4 m/s**, asegurando un equilibrio entre eficiencia de captura y estabilidad del proceso de curado de la resina.

El diseño y la calibración de estos sistemas deben ser validados mediante **modelado computacional de dinámica de fluidos (CFD)** y mediciones en campo para garantizar el cumplimiento de los límites de exposición laboral y la optimización de la calidad del producto.

2. Cabina abierta.

Tiene la parte frontal abierta y el dispositivo de extracción en la parte opuesta. El operario puede estar situado dentro o fuera de la cabina. El aire entra por la zona abierta con una velocidad superior a 0,6 m/s si la superficie de la cara es mayor de 4 m² y superior a 0,5 m/s si es menor de 4 m².

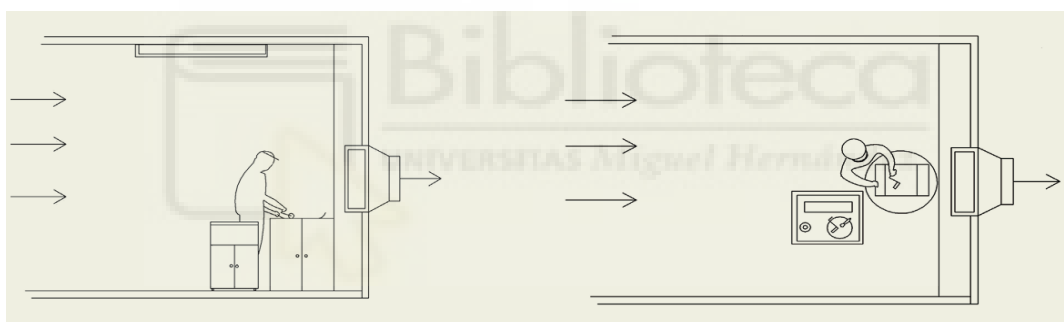


Figura 4. Esquema de cabina abierta.

Es importante que se disponga de una mesa giratoria donde colocar la pieza para que los trabajadores no se interpongan en el trayecto del aire contaminado.

3. Sistemas de extracción localizada:

La extracción localizada es una estrategia altamente recomendada para la fabricación de piezas de dimensiones reducidas en estaciones de trabajo fijas, ya que permite captar los contaminantes en su punto de origen antes de que se dispersen en el ambiente.

- **Campanas Fijas.**

- Se emplean en estaciones de trabajo estáticas para la captación directa de vapores.
- La velocidad del aire en la abertura debe ser igual o superior a 0,6 m/s para garantizar una captura eficiente y evitar la acumulación de contaminantes en la zona respiratoria del operario.

- **Mesas de Trabajo con Aspiración Integrada.**

- Incorporan sistemas de succión en la superficie de trabajo para la captación de vapores desde la base de la pieza.
- La velocidad de captación en el punto más alejado del dispositivo de aspiración debe ser de al menos 0,3 m/s en condiciones de atmósfera en calma, asegurando un flujo de extracción adecuado sin comprometer la estabilidad del proceso de fabricación.

- **Extracciones Móviles.**

- Utilizan unidades captadoras ajustables para una mayor flexibilidad en la extracción de vapores.
- Son más eficaces cuando se posicionan lo más cerca posible de la fuente de emisión, maximizando la captura antes de la dispersión en el ambiente.
- Presentan limitaciones en la fabricación de piezas de gran tamaño, ya que requieren ajustes constantes en su posición y su área de captación es reducida, lo que puede comprometer la eficiencia de ventilación en entornos de trabajo amplios.



4. Sistemas de ventilación por impulsión-aspiración en la fabricación de piezas de gran tamaño.

En escenarios donde la implementación de sistemas de ventilación con aspiración lateral no sea viable, como en la fabricación de objetos planos con longitudes superiores a 1,2 m, es recomendable el uso de sistemas combinados de impulsión-extracción.

Este sistema emplea toberas de impulsión que generan un flujo de aire dirigido, desplazando los contaminantes fuera de la zona respiratoria del operario y canalizándolos hacia un sistema de extracción eficiente. Para garantizar su eficacia, es fundamental diseñar un caudal de aire que proporcione al trabajador un suministro constante de aire no contaminado.

A continuación, se presentan algunas directrices generales aplicables a piezas cuya anchura no supere los 2 o 3 metros:

- Caudal del chorro de impulsión: Se recomienda un valor máximo de 0,025 m³/s por metro cuadrado de superficie del objeto en fabricación, evitando exceder este límite para mantener un control estable del flujo de aire.
- Caudal de aspiración: Debe ser 1,5 a 2 veces el caudal de impulsión para garantizar un flujo de aire efectivo en la captura y eliminación de contaminantes.
- Velocidad en la rendija de impulsión: La anchura de la ranura de impulsión debe dimensionarse de manera que la velocidad del aire en la rendija alcance aproximadamente 10 m/s, optimizando la dirección y fuerza del flujo.
- Altura del sistema de extracción: Se recomienda que la altura del dispositivo de recogida de aire sea equivalente a un cuarto de la anchura de la pieza a fabricar, asegurando una captación eficiente de los vapores generados en el proceso.

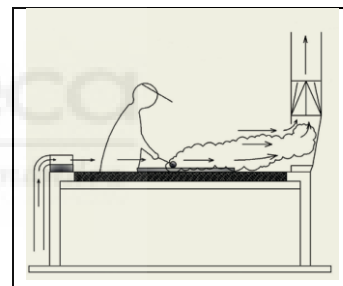


Figura 6. Ejemplo de un sistema impulsión-aspiración para la fabricación de objetos planos.

5. Sistemas de ventilación por dilución.

No debe utilizarse la ventilación general como única medida técnica para controlar la exposición a estireno. Sin embargo, puede utilizarse junto con sistemas de impulsión mecánica complementaria de aire y otras medidas técnicas para asegurar que los niveles de concentración sean lo más bajos posible y para asegurar la renovación del aire.

En el caso de que los sistemas de ventilación indicados anteriormente sean técnicamente imposibles podría ser útil la ventilación general, pero deberá incluir dispositivos de impulsión de aire que aseguren un barrido que favorezca la dilución rápida del estireno en la zona de respiración de los trabajadores.

Será necesario calcular el caudal de aire necesario para la dilución, para ello se tomará como base el consumo máximo de resina, correspondiente a los periodos de máxima actividad. A partir de este dato podrá obtenerse la cantidad total máxima de estireno emitido.

- **PARTICULAS EN SUSPENSIÓN:**

- En el centro de trabajo tiene sistemas de aspiración localizada en la mayoría de los equipos de trabajo que generan polvo: zonas de corte, lijado y mecanizado de perfiles pultruidos.
- Se dispone de un procedimiento de limpieza del centro que comprende la retirada de los restos de polvo a la finalización de la jornada.

Para la limpieza de áreas de trabajo y mantenimiento de equipos, se utiliza:

Aspiradores industriales con filtros HEPA, adecuados para recoger polvo de fibra de vidrio sin redistribuirlo en el ambiente.

Normativa aplicable:

- UNE-EN 1822:2020 sobre clasificación y eficiencia de filtros HEPA.
- ISO 14644-1:2016 Salas limpias y locales anexos controlados. Parte 1: Clasificación de la limpieza del aire mediante la concentración de partículas.

4.10. Metodología de evaluación.

Para la realización del estudio higiénico se ha realizado una evaluación cualitativa.

La metodología utilizada en la evaluación del riesgo higiénico: **presencia de estireno y materia particulada libre en la atmósfera de trabajo es "La Guía Técnica de Agentes Químicos, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo"**.

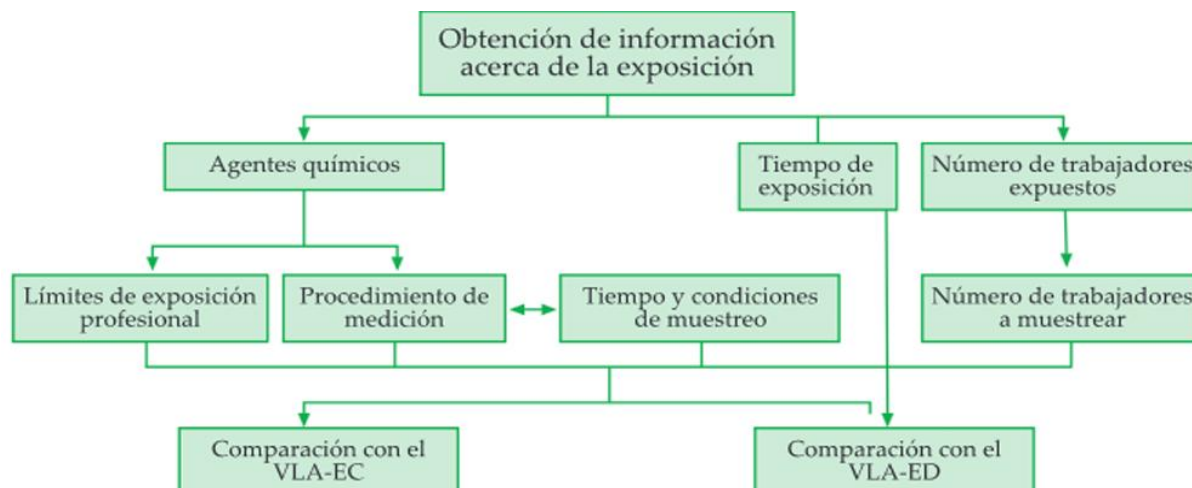


Figura 7. Metodología para la evaluación del riesgo higiénico.

Según la Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo, cuando la normativa no indique el método que debe emplearse, se escogerá un método, de entre los que se indican a continuación, por el siguiente orden de prioridad:

- 1) Normas UNE. Métodos de ensayo publicados para la determinación de contaminantes en aire en los lugares de trabajo y para el control biológico (<http://www.aenor.es>).
- 2) Métodos del INSHT. Métodos de Toma de Muestras y Análisis. Métodos validados y publicados por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. <https://www.insst.es/contenido-mta-presentacion>.
- 3) Normas internacionales (ISO) para atmósferas en los lugares de trabajo.
- 4) Métodos normalizados publicados por instituciones o entidades de reconocido prestigio en la materia (NIOSH, OSHA, HSE, etc.).
- 5) En ausencia de los anteriores, métodos desarrollados por el propio laboratorio o adoptados de otras fuentes bibliográficas (artículos científicos, libros, publicaciones técnicas) que contengan información suficiente y concisa de cómo realizar los análisis y hayan sido validados apropiadamente antes del uso.

Para la evaluación de estos riesgos se utilizará los métodos del INSHT:

- **Estireno: MTA/MA-026/A92** “Determinación de vapores orgánicos en aire - Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases”.

- **Materia particulada: MTA/MA-014/A11**“Determinación de Materia Particulada (fracción inhalable, torácica y respirable) en Aire – Método gravimétrico”. Este método es aplicable a todo tipo de materia particulada.

CUADRO RESUMEN METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN				
CONTAMINANTE	METODO	DESCRIPCION	OBJETO DE LA EVALUACIÓN	VLA-ED (mg/m ³)
Estireno	MTA/MA-026/A92	ADSORCION EN CARBON ACTIVO / CROMATOGRAFÍA DE GASES	Determinar concentración del contaminante en el centro de trabajo.	86,00
Materia particulada	MTA/MA-014/A11	Método gravimétrico Determinación de Materia Particulada (fracción inhalable, torácica y respirable) en Aire.	Determinar concentración de fracción de polvo inhalable.	10,00

Tabla 13. Cuadro resumen metodología de evaluación.

De acuerdo al esquema expuesto, se entiende que la medición de la concentración ambiental del agente químico deberá ser representativa de la exposición por inhalación y para ello tendrá que cumplir los requisitos siguientes:

- Las condiciones de trabajo al efectuar la medición deberán ser las habituales.
- El resultado debe corresponder a muestras de tipo personal, obtenidas en la zona de respiración del trabajador.
- El resultado debe corresponder al periodo de tiempo de referencia para el que está definido el valor límite con el que se vaya a comparar.
- La forma de expresión del resultado debe ser la misma que la utilizada por el valor límite con el que se vaya a comparar.
- Se utilizará una estrategia de medición (número de muestras, duración de cada muestra, momento de muestreo, etc.) que ofrezca una fiabilidad de las conclusiones.
- Si existe normativa específica para el agente en cuestión, la estrategia de medición y el procedimiento de medida deberán cumplir los requisitos establecidos en ella.
- Los métodos de medición utilizados. deberán garantizar la fiabilidad de los resultados.

EVALUACIÓN DEL RIESGO HIGIÉNICO POR VAPORES ORGÁNICOS Y MATERIA PARTICULADA.

- **Medición de la Exposición Inhalada.**

Para evaluar el riesgo higiénico asociado a la presencia de vapores orgánicos y materia particulada en el ambiente laboral, es esencial medir la cantidad de estos contaminantes inhalados por los trabajadores expuestos. La medición debe reflejar la concentración de contaminantes en un lugar y momento específico para obtener una representación precisa de la exposición.

- **Sistema de Muestreo Personalizado.**

Se utiliza un sistema de muestreo personal que el operario pueda llevar durante el periodo de muestreo. Este sistema permite capturar muestras cercanas a las vías respiratorias del trabajador, asegurando que los resultados sean fieles a las condiciones reales de exposición.

- **Duración y Condiciones del Muestreo.**

La duración del muestreo debe ser suficiente para proporcionar datos representativos de las condiciones habituales del entorno de trabajo. Además, debe realizarse bajo condiciones de trabajo normales para evitar que factores esporádicos alteren las concentraciones de los contaminantes, asegurando así que la muestra obtenida sea representativa de las condiciones habituales.

- **Procedimiento de Colocación y Activación del Dispositivo.**

Una vez colocado el equipo de muestreo, se procederá a su puesta en marcha, registrando la hora exacta de inicio del muestreo. De igual forma, se anotará el momento de finalización para determinar el periodo total de exposición.

- **Cálculo del Volumen de Aire Aspirado.**

El volumen real de aire aspirado se calculará utilizando la media aritmética de las mediciones de caudal realizadas antes y después de la toma de la muestra. Este cálculo es importante para garantizar la precisión de las mediciones de concentración de contaminantes.

- **Evaluación de los Resultados y Acción Correctiva.**

Si los resultados obtenidos superan los valores límite de exposición establecidos, se deberán investigar las causas subyacentes de dicha superación. A partir de este análisis, se deberán implementar medidas preventivas adicionales para complementar las estrategias de control existentes y garantizar la seguridad del trabajador.

4.10.1. Descripción del modelo de evaluación.

Para la evaluación del riesgo del **estireno** se ha utilizado el método del INSHT **MTA/MA-026/A92 Adsorción en carbón activo / cromatografía de gases** se han tenido en cuenta los siguientes datos:




CUADRO RESUMEN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN						
CONTAMINANTE	ESTIRENO				Nº CAS	100-42-5
						
TIPO CONTAMINANTE		Vapor orgánico				
VLA-ED	86 mg/m³ 20 ppm	Año	2025	FRASES H	H315 H319 H226 H332 H361d H372	
VLA-EC	172 mg/m³ 40 ppm					
VLB	400 mg/m³	Creatinina en orina				
VLB	0,2 mg/l	En sangre venosa				
NOTAS	Ae Alterador endocrino					
MÉTODO DE MUESTREO		MTA/MA-032/A98				
EQUIPO DE MUESTREO		Bomba de Bajo Caudal				
TIPO MUESTREADOR		Tubo de carbón activo (100/50 mg)				
Caudal Muestreo		Volumen a muestrear		Tiempo de muestreo		
0,2 L/min		48 L		240 min		
Nº Muestras	2	VP-1 VP-2				
Nº Blancos	2	BLANCO 1 VP-1 BLANCO 2 VP-2				
TÉCNICA (Método de Análisis)		ADSORCION EN CARBON ACTIVO / CROMATOGRAFÍA DE GASES				

Tabla 14. Metodología de evaluación para el Estireno.

Para la evaluación de **materia particulada** se ha utilizado el método del INSHT **MTA/MA-014-/A11 “Determinación de Materia Particulada (Fracción inhalable, torácica y respirable) en Aire – Método Gravimétrico”**.

CUADRO RESUMEN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN					
CONTAMINANTE	Materia Particulada: Polvo Ambiente – Fracción Inhalable				
TIPO CONTAMINANTE	Materia particulada-Fracción inhalable.				
VLA-ED	10 mg/m ³	Año	2025	FRASES H	N.D
VLA-EC	-- mg/m ³				
VLB	----				
MÉTODO DE MUESTREO	MTA/MA-014/A11				
EQUIPO DE MUESTREO	Bomba de alto caudal				
TIPO MUESTREADOR	Portafiltros metálico IOM				
TIPO DE FILTRO	Filtros de fibra de vidrio A/E prepesados en el laboratorio				
Caudal Muestreo		Volumen a muestrear		Tiempo de muestreo	
2 L/min		840 L		420 min	
Nº Muestras	2	MP-1 MP-2			
Nº Blancos	3	BLANCO 1 MP-B1 BLANCO 2 MP-B2 BLANCO 3 MP-B3			
TÉCNICA (Método de Análisis)		MÉTODO GRAVIMÉTRICO			

Tabla 15. Metodología de evaluación para la materia particulada.

4.10.2. Equipos de muestreo.

Para realizar la medición se han utilizado los siguientes equipos de medición:

EQUIPO MEDICIÓN	MARCA	MODELO	Nº SERIE
Calibrador	GILIAN	Calibrador 2	004641
Bomba de bajo caudal	CASELLA	Vortex Lo-Flow	042332
Bomba de alto caudal	CASELLA	AC APEX STD	0681498

Tabla 16. Equipos de muestreo utilizados para realizar las mediciones.

Todos los equipos empleados en la medición de estireno y materia particulada están certificados por una entidad acreditada. Dichos equipos han sido evaluados y calibrados de acuerdo con los estándares técnicos requeridos para garantizar su precisión, fiabilidad y exactitud en la medición de los niveles de exposición a contaminantes, específicamente estireno u otros compuestos volátiles como materia particulada presentes en el ambiente de trabajo. No se incluyen los certificados por protección de datos.

4.10.3. Procedimiento para la toma de muestras.

○ ESTIRENO

La muestra se recoge haciendo pasar una cantidad conocida de aire a través de un tubo relleno de carbón activo, mediante una bomba de muestreo personal, quedando los vapores orgánicos adsorbidos sobre el carbón. Posteriormente se desorben con sulfuro de carbono o una solución que contiene el 5% (V/V) de 2-butanol en sulfuro de carbono y se analiza la disolución resultante en un cromatógrafo de gases equipado con detector de ionización de llama.

Se obtienen las áreas de los picos de los analitos de interés y del patrón interno, determinando la cantidad presente en la muestra.

A partir de la masa de los analitos presentes en la muestra se obtienen las concentraciones ambientales.

Antes de usar los **tubos de muestreo** se comprobará que están en buen estado, **cerrados y sin grietas**.

PASOS A SEGUIR:

1. **Se calibra la bomba de muestreo** conectada a un tubo de muestreo en condiciones representativas de la toma de muestra, utilizando un calibrador.

Figura 8. Calibrador de caudal modelo Gilibrator.



2. **Romper los dos extremos del tubo de carbón** *justo antes de comenzar el muestreo*.



Figura 9. Tubo de carbón.

3. **Conectar la bomba al tubo de carbón con un tubo de goma o de plástico** de tal forma que la sección menor del tubo (segunda sección) sea la más próxima a la bomba. **Evitar toda conexión**, anterior a la entrada del tubo de carbón, a fin de evitar posibles adsorciones de contaminantes en la misma, que conlleven a errores en las determinaciones.



Figura 10. Bomba personal de muestreo de aire de bajo flujo con tubo de carbón.

4. **Colocar verticalmente el tubo de muestreo** en la zona de respiración del trabajador (por ejemplo, sujeto a la solapa). La bomba de muestreo se sujeta en el cinturón del trabajador o en su bolsillo.

Figura 11. Tubo de muestreo en la solapa y bomba de muestreo sujeta en el cinturón.



5. **Poner en marcha la bomba y controlar la duración del muestreo.** El volumen máximo a muestrear depende de muchos factores que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar la toma de muestra.
6. Los volúmenes máximos a muestrear vienen establecidos por los volúmenes de ruptura obtenidos en condiciones similares a las reales. Los volúmenes de ruptura varían con la naturaleza y la concentración de cada analito y de otros contaminantes presentes en la atmósfera a muestrear incluido el vapor de agua. También dependen de la temperatura y del caudal. Un incremento de cualquiera de estos parámetros causará una disminución de los volúmenes de ruptura.
7. Si únicamente se encontrara presente en la atmósfera un vapor adsorbible en carbón activo, los volúmenes de ruptura de la tabla 1 del anexo A del método de muestreo, representarían valores máximos para el volumen de muestreo en las condiciones (concentración, humedad, temperatura) en las que han sido obtenidos. A menores concentraciones y humedades relativas podrán muestrearse volúmenes mayores.
8. En el caso de mezclas, es difícil dar un criterio general ya que la eficacia del muestreo depende de la composición de la mezcla. Para las mezclas estudiadas (tabla 2 del anexo A del método de muestreo) pueden tomarse como referencia los valores de la tabla en el mismo sentido indicado para un único compuesto.
9. Las indicaciones que se dan a continuación pueden utilizarse como base para estimar el volumen de muestreo máximo para una mezcla de vapores orgánicos en la atmósfera a muestrear cuando se conozca previamente su composición, por ejemplo, por mediciones realizadas anteriormente o mediciones aproximadas (4.2. y 4.3. de UNE EN 482) y se disponga de datos sobre los volúmenes de ruptura individuales en carbón activo.

10. En las mediciones de vapores orgánicos, es fundamental considerar el volumen de ruptura teniendo en cuenta dos factores principales: la presencia de otros vapores en la atmósfera y la elevada concentración del propio contaminante. La coexistencia de distintos vapores puede generar un efecto acumulativo, disminuyendo el volumen de ruptura de cada uno de ellos, de manera similar al aumento de su propia concentración. (10.14.-10.15.) Asimismo, cuando un contaminante se encuentra en altas concentraciones, puede por sí mismo reducir su volumen de ruptura. Además, respecto de la eficacia del muestreo, el constituyente de interés de una mezcla de vapores presentes en la atmósfera a muestrear es el que eluiría en primer lugar, es decir, el que presentaría un volumen de ruptura menor en esas condiciones. Por tanto, el volumen máximo a muestrear vendría limitado por el volumen de ruptura del constituyente con el menor volumen de ruptura obtenido individualmente.
11. La consideración de que la concentración total de la mezcla corresponde al constituyente con menor volumen de ruptura puede proporcionar, a partir de los valores de los volúmenes de ruptura individuales de este vapor a distintas concentraciones, una estimación del volumen máximo a muestrear para la atmósfera en estudio.
12. Puede ser conveniente la utilización de un factor de seguridad que dependerá de la fiabilidad en el conocimiento de la composición de la atmósfera y en los valores de los volúmenes de ruptura disponibles.
13. El caudal se debe fijar en función del tiempo de muestreo disponible según las condiciones del lugar de trabajo a evaluar (UNE EN 689), (10.16.) y del volumen máximo de muestreo. El caudal no será en ningún caso mayor que 0,2 l/min. El tiempo máximo de muestreo nunca excederá el tiempo de referencia de los correspondientes valores límite (UNE EN 482) contemplando un equilibrio también con los tiempos de desarrollo de las tareas definidos anteriormente en el punto 4.7 (Descripción de las tareas desarrolladas durante la medición), especialmente para valores límite de corta duración, cuando esta norma se utilice para las mediciones indicadas en el capítulo 1.
14. Anotar y registrar los tiempos, temperatura, humedad (véanse apartado 7.4. y anexo C del método de muestreo), caudal y presión barométrica antes y después de la toma de muestra.
15. Finalizado el muestreo, desconectar la bomba, retirar los tubos de muestreo y cerrar ambos extremos con los tapones de polietileno. Etiquetar convenientemente cada tubo.

16. Con cada lote de muestras debe prepararse un blanco de muestra, utilizando tubos idénticos a los usados para el muestreo y sometidos a las mismas manipulaciones, excepto que no se ha pasado aire a su través.
17. Las muestras pueden ser enviadas para su análisis posterior refrigeradas para no favorecer la migración de los analitos hacia la segunda sección de carbón activo. En cualquier caso, las muestras deben ser enviadas en recipientes adecuados a fin de evitar roturas y pérdidas.
18. Las muestras se deben almacenar refrigeradas y analizarse dentro de los catorce días siguientes a su captación. Sin embargo, los ésteres de éteres de glicoles (10.5.) y los alcoholes (10.6.) presentan problemas de estabilidad en muestras captadas en ambientes de alta humedad ($H_r > 60\%$), y los compuestos de alta volatilidad pueden dar lugar a migraciones de los mismos hacia la sección posterior del tubo, por lo que en estos casos se debe analizar en periodos más cortos de tiempo.

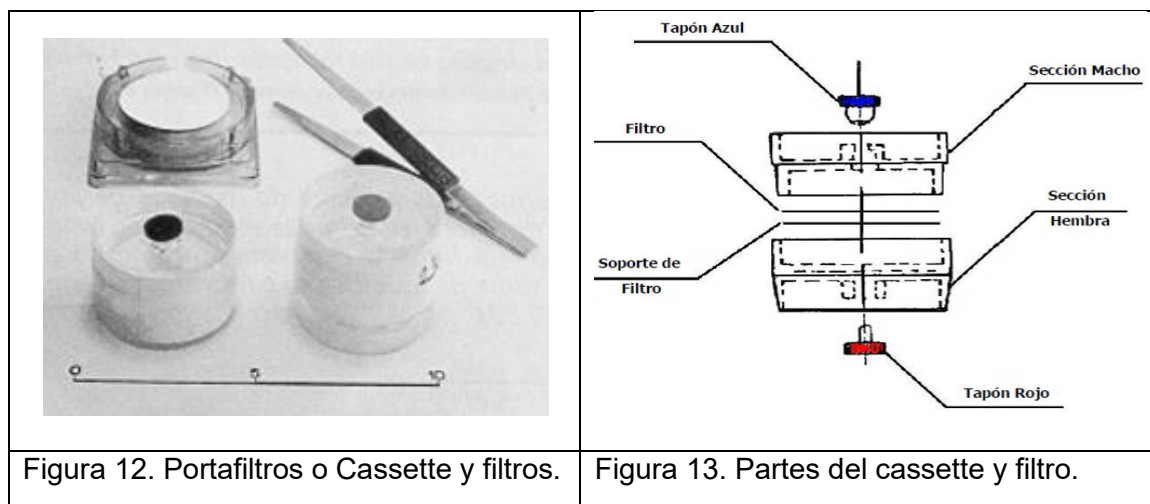
Tras la toma de la muestra, se remite la misma al laboratorio del ISSL de Murcia para su análisis.

○ **MATERIA PARTICULADA.**

La muestra se recoge haciendo pasar un volumen conocido de aire a través de un muestreador que incorpora un elemento de retención adecuado, con la ayuda de una bomba de muestreo. La cantidad de materia retenida en el elemento de retención, expresada en miligramos, se obtiene como diferencia entre la pesada del elemento de retención posterior y previa al muestreo. A partir de dicha cantidad, y teniendo en cuenta el volumen de aire muestreado, se obtiene **la concentración de materia particulada en aire**, en miligramos por metro cúbico (**mg/m³**).

PASOS A SEGUIR:

1. Antes de usar **los muestreadores** se comprobará que están completamente **limpios y secos**.
2. **Se monta el elemento de retención** previamente pesado en **el muestreador seleccionado**. El elemento de retención se manipulará **únicamente con pinzas de puntas planas** y el muestreador, con el elemento de retención incorporado, permanecerá convenientemente cerrado hasta el comienzo del muestreo.



3. **Se calibra la bomba de muestreo** al caudal requerido empleando un medidor de caudal, y un muestreador conteniendo un elemento de retención del mismo lote que el utilizado en el muestreo.
4. **Antes de comenzar el muestreo, se retiran las protecciones del muestreador y se conecta éste a la bomba mediante un tubo flexible**, asegurándose de que no existen fugas ni estrangulamientos.

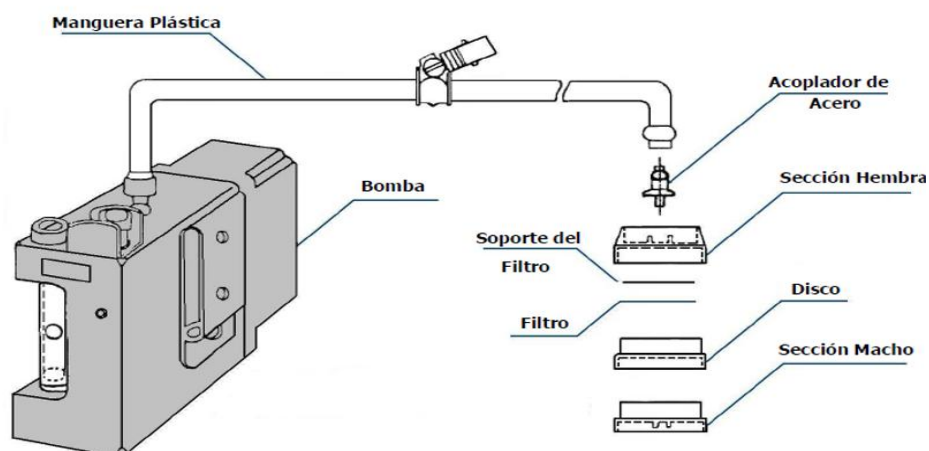


Figura 17. Bomba y partes del cassette.

5. **Para muestreos personales se coloca el muestreador en la zona de respiración del trabajador**, por ejemplo, sujeto a la solapa, y **la bomba de muestreo se sujeta en el cinturón** o en otro lugar apropiado de la ropa del trabajador, evitando estrangulamientos del tubo flexible.

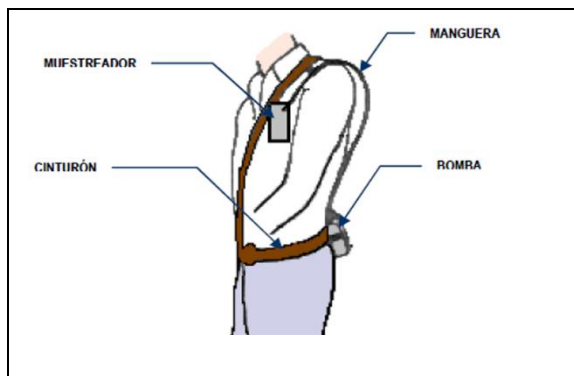


Figura 18. Tubo de muestreo en la solapa y bomba de muestreo sujeta en el cinturón.



Figura 19. Tubo de muestreo en la solapa y bomba de muestreo sujeta en el cinturón.

6. Para iniciar el muestreo **se pone en marcha la bomba y se anota la hora de comienzo de la toma de muestra**. El tiempo de muestreo debe ser representativo de la duración de la exposición de los trabajadores y tan largo como sea razonablemente posible, evitando la colmatación del elemento de retención.

7. **Al finalizar** la toma de muestra **se anota el tiempo transcurrido** desde el inicio del muestreo. **Se retira el muestreador** del sistema de muestreo **y se vuelve a cerrar** para evitar pérdidas o contaminaciones durante su traslado al laboratorio.

Se anotan la referencia de la muestra y todos los datos relativos al muestreo.

8. Con el mismo muestreador y elemento de retención utilizados en la calibración previa, **se verificará y anotará el caudal de la bomba tras el muestreo**. El caudal al final del periodo de muestreo deberá haberse mantenido dentro del $\pm 5 \%$ del valor ajustado inicialmente. La muestra se considera no válida cuando la diferencia entre los caudales medidos antes y después de la toma de muestra supera dicho 5% .

9. Por cada lote de muestras tomadas en las mismas condiciones se adjuntarán, al menos, tres blancos de muestreo (elementos de retención sometidos exactamente a la misma manipulación que las muestras, excepto que a través de ellos no habrá pasado aire).

Tras la toma de la muestra, se remite la misma al laboratorio acreditado para su correspondiente análisis conforme a los estándares establecidos.

4.11. Medición efectuada.

La evaluación de la exposición a estireno y partículas en suspensión se llevó a cabo en marzo del 2025 el día 03 en el turno de mañana, día 04 en el turno de tarde y día 05 en el turno de noche para el estireno, y para la materia particulada, por el Técnico de Higiene Industrial del Servicio de Prevención Ajeno, acompañado por el jefe de Planta y el delegado de Prevención.

La toma de muestras se efectuó mediante la instalación de la bomba de muestreo personal descrita en el apartado 4.10.2. (Equipos de muestreo) de este documento, fijada en la en la parte posterior de la cintura del operario, con el elemento captador posicionado a la altura del hombro, próximo a la zona de respiración, asegurando una medición representativa de la exposición inhalatoria del trabajador.

Las muestras tomadas se pueden estimar representativas de la exposición del puesto de trabajo analizado.

Las condiciones de trabajo eran representativas de una jornada de trabajo laboral normal.

Las condiciones de muestreo fueron las siguientes:



FECHA	TAREA	Nº FILTRO	AGENTE QUÍMICO	CAUDAL (L)	TIEMPO DE MUESTREO (min)	VOLUMEN DE MUESTREO (m³)
03/03/2025	TAREA 1	VP-1	Estireno (100-42-5)	0,200	450	0,09
04/03/2025						
05/03/2025						
03/03/2025	TAREA 2	VP-2	Estireno (100-42-5)	0,200	450	0,09
04/03/2025						
05/03/2025						
03/03/2025	TAREA 3	MP-1	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción Inhalable)	2,000	450	0,90
04/03/2025						
05/03/2025						
03/03/2025	TAREA 4	MP-2	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción Inhalable)	2,000	450	0,90
04/03/2025						
05/03/2025						

Tabla 17. Datos del muestreo.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Datos obtenidos.

Una vez realizada la muestra se ha procedido a su análisis en un laboratorio acreditado, se detallan a continuación los resultados obtenidos en las mediciones realizadas:

○ ESTIRENO:

Cálculo de la concentración a partir de los datos de la calibración de la bomba y de los resultados remitidos por el laboratorio:

Ecuación calcular la concentración: $C = \frac{M}{V}$

Donde:

- C = concentración de estireno en el aire (mg/m³)
- M = masa de estireno capturada en el medio de muestreo (mg)
- V = volumen total de aire muestreado (m³) = Q × t
(Q = caudal de la bomba en L/min, t = tiempo de muestreo en min)

FECHA	Nº FILTRO	AGENTE QUÍMICO	CAUDAL (L)	TIEMPO MUESTREO (minutos)	VOLUMEN MUESTREO (m ³)	RESULTADO LABORATORIO (mg)	CONCENTRACIÓN (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)
03/03/2025	VP-1	Estireno (100-42-5)	0,2000	450	0,09	0,9672	10,7467	86
03/03/2025	VP-2	Estireno (100-42-5)	0,2000	450	0,09	0,9080	10,0889	86
04/03/2025	VP-1	Estireno (100-42-5)	0,2000	450	0,09	1,2120	13,4667	86
04/03/2025	VP-2	Estireno (100-42-5)	0,2000	450	0,09	0,9400	10,4444	86
05/03/2025	VP-1	Estireno (100-42-5)	0,2000	450	0,09	1,2950	14,3889	86
05/03/2025	VP-2	Estireno (100-42-5)	0,2000	450	0,09	1,2070	13,4111	86

Tabla 18. Resultados obtenidos en el laboratorio de todas las mediciones de estireno.

A continuación, en este documento solo se muestran a modo de ejemplo todos los cálculos de las dos últimas mediciones realizadas el último día.

Nº FILTRO	AGENTE QUÍMICO	CAUDAL (L)	TIEMPO MUESTREO (minutos)	VOLUMEN MUESTREO (m³)	RESULTADO LABORATORIO (mg)	CONCENTRACIÓN (mg/m³)	VLA-ED (mg/m³)
VP-1	Estireno	0,2000	240	0,09	1,2950	14,3889	86
BLANCO 1	Blanco	---	----	----	----	----	----
VP-2	Estireno	0,2000	240	0,09	1,2070	13,4111	86
BLANCO 2	Blanco	---	----	----	----	----	----

Tabla 19. Resultados obtenidos en el laboratorio de las mediciones más altas de estireno.

○ MATERIA PARTICULADA:

Una vez realizada la muestra se ha procedido a su análisis en el laboratorio acreditado para el análisis de materia particulada, se aplicó el método gravimétrico, referido en el método de muestreo MTA / MA – 014 / A11.

Se detallan a continuación los resultados obtenidos en las mediciones realizadas:

Cálculo de la concentración a partir de los datos de la calibración de la bomba y de los

resultados remitidos por el laboratorio. Se calcula con la fórmula: $C = \frac{M}{V} = \frac{M}{Q \times t}$

Donde:

C = concentración en mg/m³.

M = masa de materia particulada capturada en el medio de muestreo (mg).

Q = caudal de la bomba (L/min).

t = tiempo de muestreo (min).

FECHA	Nº FILTRO	AGENTE QUÍMICO	CAUDAL (L)	TIEMPO MUESTREO (minutos)	VOLUMEN MUESTREO (m³)	RESULTADO LABORATORIO (mg)	CONCENTRACIÓN (mg/m³)	VLA-ED (mg/m³)
03/03/2025	MP-1	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	2,5500	2,833	10
03/03/2025	MP-2	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	2,2672	2,5191	10
04/03/2025	MP-1	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	2,1340	2,3711	10
04/03/2025	MP-2	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	2,4830	2,7589	10

05/03/2025	MP-1	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	3,2000	3,5556	10
05/03/2025	MP-2	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	3,3300	3,7000	10

Tabla 20. Resultados obtenidos en el laboratorio de todas las mediciones de materia particulada.

A continuación, en este documento solo se muestran a modo de ejemplo todos los cálculos de las dos últimas mediciones realizadas de materia particulada son:

Nº FITLRO	AGENTE QUÍMICO	CAUDAL (L)	TIEMPO MUESTREO (min)	VOLUMEN MUESTREO (m³)	RESULTADO LABORATORIO (mg)	CONCENTRACIÓN (mg/m³)	VLA-ED (mg/m³)
MP-1	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	3,200	3,5556	10
MP-2	Materia particulada: Polvo Ambiente (Fracción inhalable)	2,000	450	0,900	3,330	3,7000	10
MP-B1	Blanco 1	----	----	----	----	----	----
MP-B2	Blanco 2	----	----	----	----	----	----
MP-B3	Blanco 3	----	----	----	----	----	----

Tabla 21. Resultados obtenidos en el laboratorio de las mediciones más altas de materia particulada.

5.2. Valoración Exposición Diaria por inhalación.

Para poder comparar los resultados con el Valor Límite definido se ha de calcular la exposición diaria (ED) mediante la fórmula:

$$ED = \sum \frac{c_i \cdot t_i}{8}$$

Donde:

c_i = Es la concentración i-ésima

t_i = Es el tiempo de exposición en horas, asociado a cada valor c_i

Además de las mediciones realizadas, se ha de tener en cuenta los **30 minutos de descanso**. Al realizarse fuera de la Nave, se ha considerado que la concentración es de **0 mg/m³**.

Se ha considerado además que el resultado obtenido durante la medición en las tareas es representativo para todo el tiempo de exposición.

Los cálculos de Exposición diaria (ED) para las dos últimas muestras tomadas son:

○ **Estireno:**

$$ED_{VP-1 (8h)} = \frac{(14,3889 * 7,5) + (0 * 0,5)}{8} = 13,496 \text{ mg/m}^3$$

$$ED_{VP-2 (8h)} = \frac{(13,4111 * 7,5) + (0 * 0,5)}{8} = 12,5729 \text{ mg/m}^3$$

○ **MATERIA PARTICULADA:**

$$ED_{MP-1 (8h)} = \frac{(3,4444 * 7,5) + (0 * 0,5)}{8} = 3,3333 \text{ mg/m}^3$$

$$ED_{MP-2 (8h)} = \frac{(3,5889 * 7,5) + (0 * 0,5)}{8} = 3,4688 \text{ mg/m}^3$$

5.2.1. Efectos crónicos de la exposición a Estireno y material particulado.

Se ha realizado una evaluación de los efectos crónicos de la exposición a estireno y material particulado. Dado que la concentración de efecto crónico (EC) no puede determinarse directamente en determinadas condiciones, la evaluación se basa en la medición de la exposición diaria (ED). Esta metodología permite establecer un marco de referencia para la evaluación de riesgos ocupacionales a largo plazo, considerando que la acumulación de contaminantes en el organismo puede generar efectos adversos progresivos.

El estireno es un compuesto volátil que, en exposiciones prolongadas, puede afectar el sistema nervioso central, produciendo efectos neurotóxicos como alteraciones cognitivas, cefaleas y reducción de la capacidad de reacción. Además, su exposición crónica se ha asociado con efectos hematológicos y hepáticos. La evaluación de la exposición crónica al estireno se basa en el monitoreo ambiental y biomarcadores de exposición, ya que su toxicidad puede manifestarse incluso en concentraciones moderadas con exposiciones prolongadas.

Para los agentes químicos que tienen asignado VLA-ED pero no VLA-EC, se establece el producto de 3 x VLA-ED como valor que no deberá superarse durante más de 30 minutos en total a lo largo de la jornada de trabajo, no debiéndose sobrepasar en ningún momento el valor 5 x VLA-ED.

Muestra		ED (8 h) mg/m ³	VLA-ED mg/m ³	3 x VLA-ED mg/m ³	5 x VLA-ED mg/m ³	Resultado
Estireno	VP-1	10,0750	86,0000	30,2250	50,3750	No supera 3 x VLA-ED No supera 5 x VLA-ED
Estireno	VP-2	9,4583	86,0000	28,3750	47,2917	No supera 3 x VLA-ED No supera 5 x VLA-ED
Estireno	VP-1	12,6250	86,0000	37,8750	63,1250	No supera 3 x VLA-ED No supera 5 x VLA-ED
Estireno	VP-2	9,7917	86,0000	29,3750	48,9583	No supera 3 x VLA-ED No supera 5 x VLA-ED
Estireno	VP-1	13,4896	86,0000	40,4688	67,4479	No supera 3 x VLA-ED No supera 5 x VLA-ED
Estireno	VP-2	12,5729	86,0000	37,7188	62,8646	No supera 3 x VLA-ED No supera 5 x VLA-ED

Tabla 22. Resultados de concentración de Estireno de ED y sus límites VLA-ED.

○ MATERIA PARTICULADA:

En cuanto a la materia particulada, su exposición crónica está vinculada a enfermedades respiratorias obstructivas, inflamación pulmonar crónica y mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Las partículas de menor tamaño pueden alcanzar los alveolos pulmonares y desencadenar respuestas inflamatorias sistémicas, agravando patologías preexistentes.

Para los agentes químicos que tienen asignado VLA-ED pero no VLA-EC, se establece el producto de 3 x VLA-ED como valor que no deberá superarse durante más de 30 minutos en total a lo largo de la jornada de trabajo, no debiéndose sobrepasar en ningún momento el valor 5 x VLA-ED.

Muestra	ED (8 h) mg/m ³	VLA-ED mg/m ³	3 x VLA-ED mg/m ³	5 x VLA-ED mg/m ³	Resultado
MP-1	2,6563	10,0000	7,9688	13,2813	No supera 3 x VLA-ED Supera 5 x VLA-ED
MP-2	2,3617	10,0000	7,0850	11,8083	No supera 3 x VLA-ED Supera 5 x VLA-ED
MP-1	2,2229	10,0000	6,6688	11,1146	No supera 3 x VLA-ED Supera 5 x VLA-ED
MP-2	2,5865	10,0000	7,7594	12,9323	No supera 3 x VLA-ED Supera 5 x VLA-ED
MP-1	3,3333	10,0000	10,0000	16,6667	No supera 3 x VLA-ED Supera 5 x VLA-ED
MP-2	3,4688	10,0000	10,4063	17,3438	Supera 3 x VLA-ED Supera 5 x VLA-ED

Tabla 23. Resultados de concentración de Materia particulada de ED y sus límites VLA-ED.

5.3. Dosis Máxima Permitida.

Para evaluar el nivel de exposición, los resultados obtenidos se ponderarán para conseguir un valor de referencia de 8 horas de exposición. Se debe calcular, por lo tanto, la dosis recibida por cada trabajador para este tiempo.

Esta dosis será comparada después con la Dosis Máxima Permisible (DMP) para una jornada laboral de 8 horas, y que viene establecida por el valor límite antes mencionado.

Por lo tanto, se debe obtener el porcentaje de la DMP, que se calcula de la siguiente forma:

Se procede a determinar el porcentaje de “**Dosis Máxima Permisible**” (%DMP) a partir de la expresión:

$$\% \text{ DMP} = \frac{ci}{VLA-ED} \times \frac{t}{8} \times 100 = k$$

Resultando que:

- Si $K > 100$ Existe riesgo higiénico.
- Si $50 < K < 100$ Riesgo higiénico dudoso.
- Si $K < 50$ No existe riesgo higiénico.

Si bien este cálculo presenta la ventaja de permitir cuantificar los riesgos de forma correcta, en su aplicación se debe tener en cuenta que:

- Si el valor de Ci del contaminante es superior a $5 \times VLA-ED$ es este valor y no el %DMP el que determinará la existencia del riesgo, ya que aun con valores muy bajos del %DMP, para cortas exposiciones, puede existir riesgo higiénico.
- Si los tiempos de exposición del trabajador al riesgo son cortos y las concentraciones en el ambiente superan el VLA-ED, deberán tenerse en cuenta, los límites de desviación (LD).
- En casos justificados se podrá realizar una valoración semanal en lugar de diaria (siempre que se trate de un agente químico de largo periodo de inducción y existan variaciones sistemáticas), en cuyo caso la comparación con el VLA-ED se realizará con la **Exposición Semanal (ES)**, calculada a partir de la expresión:

$$ES = \frac{\sum ED_i}{5}$$

• **ESTIRENO. (Datos de las dos últimas mediciones).**

CÓDIGO DE LA MUESTRA: VP-1				
AGENTE QUÍMICO	CONCENTRACIÓN mg/m ³	VLA-ED mg/m ³	T Exposición h/día	% DMP
ESTIRENO	14,3889	86,0000	1,0000	2,0914
$\% \text{ DMP} = \frac{C}{\text{VLA}} \times \frac{T_e}{T_r} \times 100 = k$ <p>Siendo:</p> <p>C=concentración media relativa al tiempo de exposición en mg/m³.</p> <p>VLA= Valor límite.</p> <p>Te = tiempo de exposición al contaminante durante la jornada laboral.</p> <p>Tr= tiempo de exposición medio diario = 8 horas.</p>			2,0000	4,1828
			3,0000	6,2742
			4,0000	8,3656
			5,0000	10,4570
			6,0000	12,5485
			7,0000	14,6399
			8,0000	16,7313

Tabla 24. Valores obtenidos de la muestra VP-1

CÓDIGO DE LA MUESTRA: VP-2				
AGENTE QUÍMICO	CONCENTRACIÓN mg/m ³	VLA-ED mg/m ³	T Exposición h/día	% DMP
ESTIRENO	13,4111	86,0000	1,0000	1,9493
$\% \text{ DMP} = \frac{C}{\text{VLA}} \times \frac{T_e}{T_r} \times 100 = k$ <p>Siendo:</p> <p>C=concentración media relativa al tiempo de exposición en mg/m³.</p> <p>VLA= Valor límite.</p> <p>Te = tiempo de exposición al contaminante durante la jornada laboral.</p> <p>Tr= tiempo de exposición medio diario = 8 horas.</p>			2,0000	3,8986
			3,0000	5,8479
			4,0000	7,7972
			5,0000	9,7464
			6,0000	11,6957
			7,0000	13,6450
			8,0000	15,5943

Tabla 25. Valores obtenidos de la muestra VP-2

• **MATERIA PARTICULADA. (Para las dos ultimas muestras)**

CÓDIGO DE LA MUESTRA: MP-1				
AGENTE QUÍMICO	CONCENTRACIÓN mg/m ³	VLA-ED mg/m ³	T Exposición h/día	% DMP
Polvo (Fracción inhalable)	3,5556	10,0000	1,0000	4,4445
$\% \text{ DMP} = \frac{C}{VLA} \times \frac{Te}{Tr} \times 100 = k$ <p>Siendo:</p> <p>C=concentración media relativa al tiempo de exposición en mg/m³.</p> <p>VLA= Valor límite.</p> <p>Te = tiempo de exposición al contaminante durante la jornada laboral.</p> <p>Tr= tiempo de exposición medio diario = 8 horas.</p>			2,0000	8,8890
			3,0000	13,3335
			4,0000	17,7780
			5,0000	22,2225
			6,0000	26,6670
			7,0000	31,1115
			8,0000	35,5560

Tabla 26. Valores obtenidos de la muestra MP-1

CÓDIGO DE LA MUESTRA: MP-2				
AGENTE QUÍMICO	CONCENTRACIÓN mg/m ³	VLA-ED mg/m ³	T Exposición h/día	% DMP
Polvo (Fracción inhalable)	3,7000	10,0000	1,0000	4,6250
$\% \text{ DMP} = \frac{C}{VLA} \times \frac{Te}{Tr} \times 100 = k$ <p>Siendo:</p> <p>C=concentración media relativa al tiempo de exposición en mg/m³.</p> <p>VLA= Valor límite.</p> <p>Te = tiempo de exposición al contaminante durante la jornada laboral.</p> <p>Tr= tiempo de exposición medio diario = 8 horas.</p>			2,0000	9,2500
			3,0000	13,8750
			4,0000	18,5000
			5,0000	23,1250
			6,0000	27,7500
			7,0000	32,3750
			8,0000	37,0000

Tabla 27. Valores obtenidos de la muestra MP-2.

5.4. Índice de Exposición.

El Índice de Exposición representa la cantidad del agente presente en el ambiente o en el aire inhalado y la cantidad que realmente ingresa al organismo por inhalación, o se absorbe por otras vías (ingesta). La dosis refleja la cantidad de sustancia administrada. La frecuencia de la dosis es la cantidad administrada por unidad de tiempo, sin embargo, es difícil evaluar la relación exposición-efecto en el lugar de trabajo debido a que existe una relación compleja no lineal entre la exposición y dosis (inhalación – absorción – distribución en el organismo).

Nos indica un valor numérico que sirve para la evaluación final de la exposición del trabajador durante toda la jornada laboral con el fin de llegar a una determinada conclusión.

Una complejidad adicional es el estado físico del agente. Para los gases es posible hacer la estimación de la concentración atmosférica del agente durante la jornada de trabajo y la cantidad de aire inhalado, para los polvos o material particulada es necesario considerar el tamaño de las partículas y su deposición.

Su cálculo se obtiene aplicado la siguiente fórmula:

$$I = \frac{ED}{VLA-ED}$$

- **ESTIRENO:**

Para los valores de las dos últimas muestras obtenemos los siguientes valores:

$$I_{VP-1 (8 h)} = \frac{ED}{VLA-ED} = \frac{13,4896 \text{ mg/m}^3}{86,0000 \text{ mg/m}^3} = 0,1569$$

$$I_{VP-2 (8 h)} = \frac{ED}{VLA-ED} = \frac{12,5729 \text{ mg/m}^3}{86,0000 \text{ mg/m}^3} = 0,1462$$

• MATERIA PARTICULADA:

Para los valores de las dos últimas muestras obtenemos los siguientes valores:

$$I_{MP-1 (8 h)} = \frac{ED}{VLA-ED} = \frac{3,3333 \text{ mg/m}^3}{10,0000 \text{ mg/m}^3} = 0,3333$$

$$I_{MP-2 (8 h)} = \frac{ED}{VLA-ED} = \frac{3,4688 \text{ mg/m}^3}{10,0000 \text{ mg/m}^3} = 0,3469$$

5.5. Resumen de los resultados obtenidos.

• ESTIRENO

FECHA	Nº FILTRO	AGENTE QUÍMICO	RESULTADO LABORATORIO (mg)	CONCENTRACIÓN (mg/m³)	VLA-ED (mg/m³)	Tiempo exposición (horas)	ED (mg/m³)	ÍNDICE EXPOSICIÓN (I)
03/03/2025	VP-1	Estireno (100-42-5)	0,9672	10,7467	86	8	10,0750	0,1172
03/03/2025	VP-2	Estireno (100-42-5)	0,9080	10,0889	86	8	9,4583	0,1100
04/03/2025	VP-1	Estireno (100-42-5)	1,2120	13,4667	86	8	12,6250	0,1468
04/03/2025	VP-2	Estireno (100-42-5)	0,9400	10,4444	86	8	9,7917	0,1139
05/03/2025	VP-1	Estireno (100-42-5)	1,2950	14,3889	86	8	13,4896	0,1569
05/03/2025	VP-2	Estireno (100-42-5)	1,2070	13,4111	86	8	12,5729	0,1462

Tabla 28. Resumen de los resultados obtenidos de todas las muestras de Estireno, tiempo exposición 8 h.

• **MATERIA PARTICULADA.**

FECHA	Nº FILTRO	AGENTE QUÍMICO	RESULTADO LABORATORIO (mg)	CONCENTRACIÓN (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Tiempo exposición (horas)	ED (mg/m ³)	ÍNDICE EXPOSICIÓN (I)
03/03/2025	MP-1	Materia particulada: Polvo ambiente (fracción inhalable)	2,5500	2,8333	10	8	2,6563	0,2656
03/03/2025	MP-2	Materia particulada: Polvo ambiente (fracción inhalable)	2,2672	2,5191	10	8	2,3617	0,2362
04/03/2025	MP-1	Materia particulada: Polvo ambiente (fracción inhalable)	2,1340	2,3711	10	8	2,2229	0,2223
04/03/2025	MP-2	Materia particulada: Polvo ambiente (fracción inhalable)	2,4830	2,7589	10	8	2,5865	0,2586
05/03/2025	MP-1	Materia particulada: Polvo ambiente (fracción inhalable)	3,2000	3,5556	10	8	3,3333	0,3333
05/03/2025	MP-2	Materia particulada: Polvo ambiente (fracción inhalable)	3,3300	3,7000	10	8	3,4688	0,3469

Tabla 29. Resumen de los resultados obtenidos de todas las muestras de materia particulada, tiempo exposición 8 h.

5.6. Comparación ED con VLA-ED con aplicación del INSST.

Si calculamos con dichos valores los niveles de exposición mediante la aplicación del INSST obtenemos que:

• ESTIRENO

The screenshot shows the 'CALCULADORA' (Calculator) interface of the INSST application. The title is 'Exposición a agentes químicos. Comparación ED con VLA-ED'. The interface includes a sidebar with navigation links: Inicio, Sobre la aplicación, Calculadora, Recursos adicionales, and INSST. The main content area displays the following information:

Resultado:

Datos identificativos de la evaluación de la exposición:

- Empresa y dirección: EMPRESA PARA TFM
- Actividad y/o tarea: FABRICACIÓN DE PERFILES DE FIBRA DE VIDRIO / CORTE-RECTIFICADO DE PERFILES.
- Localización:
- Trabajador/GES:
- Técnico responsable: DOLORES LÓPEZ CERMEÑO
- Fecha de inicio: 03/03/2025 0:00:00 Fecha de finalización: 05/03/2025 0:00:00
- Otros:

Buttons for navigation are visible: Atrás, Nuevo cálculo, and Imprimir.

Datos de partida:

Jornada 1		
Estireno (100-42-5) (VLAED: 86 mg/m ³ , Tiempo de exposición: 450 min)		
Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 1: VP-1 (03/03/2025)	450 min	10,7467 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	10,07503 mg/m ³	0,11715

Jornada 2
Estireno (100-42-5) (VLAED: 86 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 2: VP-2 (03/03/2025)	450 min	10,0889 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	9,45834 mg/m ³	0,10998

Jornada 3
Estireno (100-42-5) (VLAED: 86 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 3: MP-1 (04/03/2025)	450 min	13,4667 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	12,62503 mg/m ³	0,14680

Jornada 4
Estireno (100-42-5) (VLAED: 86 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 4:VP-2 (04/03/2025)	450 min	10,4444 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	9,79163 mg/m ³	0,11386

Jornada 5
Estireno (100-42-5) (VLAED: 86 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 5:VP-1(05/03/2025)	450 min	14,3889 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	13,48959 mg/m ³	0,15686

Jornada 6

Estireno (100-42-5) (VLAED: 86 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 6:VP-2 (05/03/2025)	450 min	13,4111 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	12,57291 mg/m ³	0,14620

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

W (Shapiro-Wilk) = 0,848
W_{crítico} = 0,788

ESTADÍSTICOS

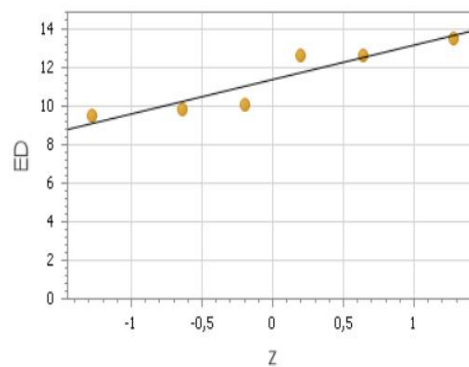
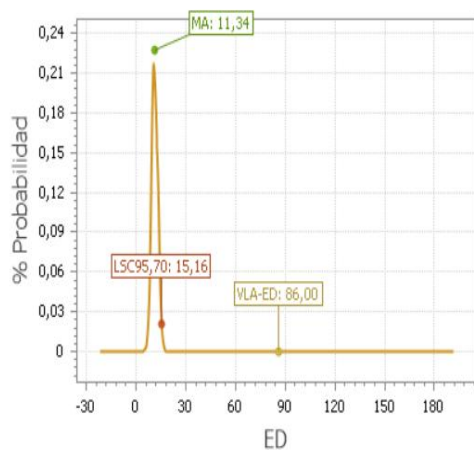
MA = 11,3354
DS = 1,751

PRUEBA ESTADÍSTICA

LSC_{95,70} = 15,16
U_R = 42,64
U_T = 2,187


Sugerencia: Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 36 meses.


Código de recuperación de datos: **3724108**



En base a estos resultados, el **NIVEL DE EXPOSICIÓN** a la empresa sería **ACEPTABLE** con los datos obtenidos en las mediciones, con las condiciones de trabajo actuales. No obstante, será necesario realizar **nueva medición transcurridos 36 meses (máximo)** para recalcular los resultados y continuar verificando que los valores se encuentran dentro de los límites permitidos.

• MATERIA PARTICULADA.


GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE TRABAJO Y ECONOMÍA SOCIAL


insst
Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo

Inicio

Sobre la aplicación

Calculadora

Recursos adicionales

INSST

CALCULADORA

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: EMPRESA PARA TFM

Actividad y/o tarea: FABRICACIÓN DE PERFILES DE FIBRA DE VIDRIO MEDIANTE PULTRUSIÓN / CORTE-RECTIFICADO DE PERFILES.

Localización:

Trabajador/GES:

Técnico responsable: DOLORES LÓPEZ CERMEÑO

Fecha de inicio: 03/03/2025 0:00:00 Fecha de finalización: 05/03/2025 0:00:00

Otros:

Jornada 1

MAT PART (Inhalable) (VLAED: 10 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 1: MP-1 (03/03/2025)	450 min	2,8333 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	2,65622 mg/m ³	0,26562

Jornada 2
MAT PART (Inhalable) (VLAED: 10 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 2: MP-2 (03/03/2025)	450 min	2,5191 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	2,36166 mg/m ³	0,23617

Jornada 3
MAT PART (Inhalable) (VLAED: 10 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 3: MP-1 (04/03/2025)	450 min	2,3711 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	2,22291 mg/m ³	0,22229

Jornada 4
MAT PART (Inhalable) (VLAED: 10 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 4: MP-2 (04/03/2025)	450 min	2,7589 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	2,58647 mg/m ³	0,25865

Jornada 5
MAT PART (Inhalable) (VLAED: 10 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 5:MP-1 (03/03/2025)	450 min	3,5556 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	3,33338 mg/m ³	0,33334

Jornada 6

MAT PART (Inhalable) (VLAED: 10 mg/m³ , Tiempo de exposición: 450 min)

Muestra/s	Tiempo de muestreo	Concentración
Muestra 6: MP-2 (05/03/2025)	450 min	3,7 mg/m ³
Tiempo total de muestreo:	Exposición Diaria ED	Índice de exposición
450 min	3,46875 mg/m ³	0,34688

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 LOG NORMAL

W (Shapiro-Wilk) = 0,904
W_{crítico} = 0,788

ESTADÍSTICOS

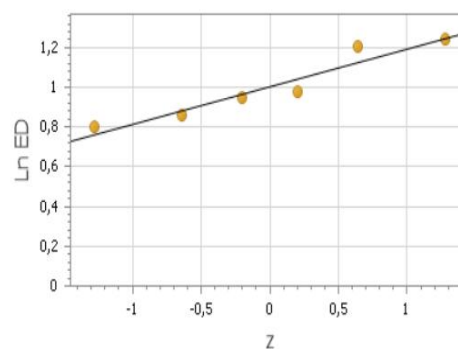
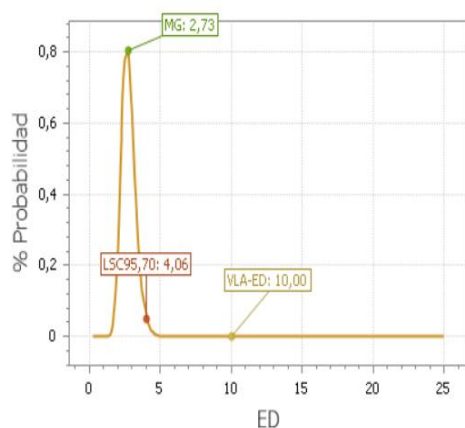
MG = 2,7333
DSG = 1,199

PRUEBA ESTADÍSTICA

LSC_{95,70} = 4,06
U_R = 7,16
U_T = 2,187

Sugerencia: Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 30 meses.

Código de recuperación de datos: **4188010**



Ln ED = 1,00553+ 0,19048z
R² = 0,92322

6. CONCLUSIONES.

Según la Guía Técnica de Agentes Químicos, del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, una vez obtenidos los resultados, se deberá seguir el siguiente proceso:

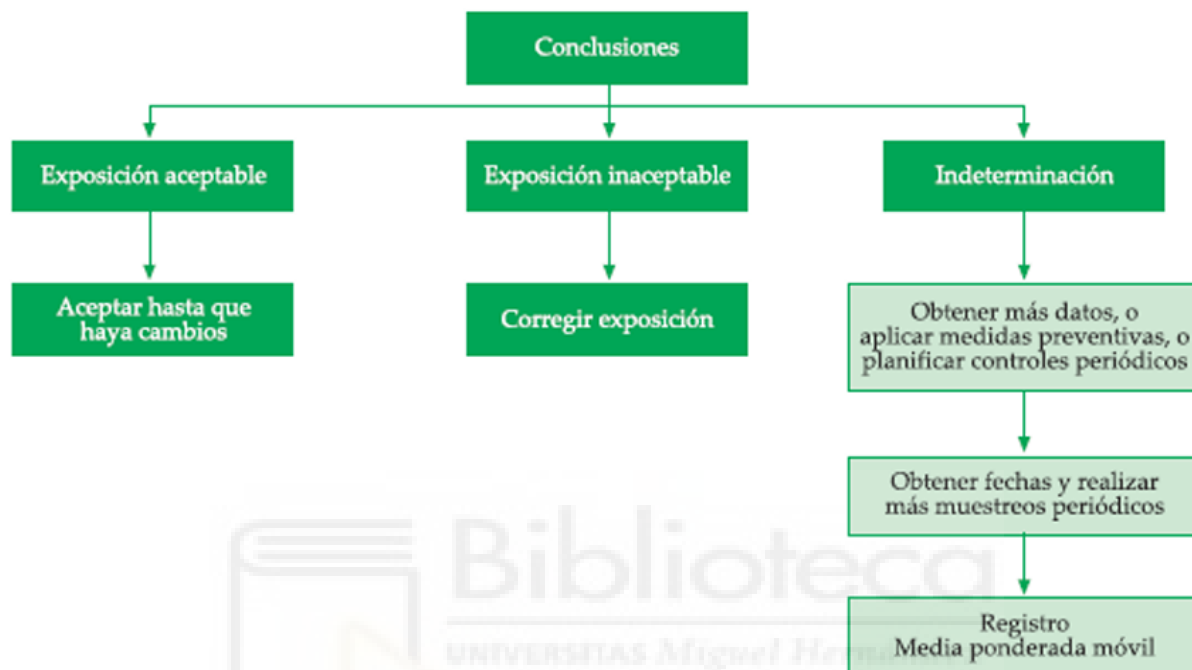


Figura 20. Proceso a seguir después de obtener los resultados.

La misma Guía Técnica establece que cuando los procedimientos de evaluación no permiten llegar a una conclusión definitiva sobre la exposición por inhalación, se dice que el resultado del proceso de evaluación es indeterminado. En estas circunstancias se recomienda, entre otras posibles acciones, la realización de mediciones periódicas de control.

La incertidumbre acerca de la magnitud del riesgo a lo largo del tiempo aconseja la realización de muestreos periódicos, esto es, la obtención de datos sobre las concentraciones ambientales cada cierto tiempo con el objeto de controlar que no se supere el valor límite.

El fin de las mediciones periódicas es disponer de datos objetivos sobre la tendencia de los valores de concentración ambiental cuando la sistemática de comparación con el valor límite no asegura que este no será superado en exposiciones venideras, y además el coste del control periódico está justificado frente al coste de las medidas correctoras o estas son insuficientes. Se trata en cierto modo de una medida preventiva más y no de un sistema de evaluación.

Según la norma UNE-EN 689:2019, “después de haber alcanzado una adecuada **prevención y protección**, debería llevarse a cabo **anualmente la reevaluación** de las situaciones para valorar si el perfil de exposición se mantiene estable con el tiempo”. La norma UNE-EN 689:2019, en su Anexo I, propone tres posibles aproximaciones para decidir sobre los intervalos entre las campañas de mediciones periódicas.

La reevaluación debería ser aplicada a cada **GES** (Grupos de Exposición Similar), incluyendo una evaluación de si la asignación de los trabajadores al GES sigue siendo adecuada.

- a) Si una decisión de conformidad se alcanzó mediante la prueba preliminar descrita en el apartado 5.5.2. de la norma UNE-EN 689:2019 y las condiciones no han cambiado, deberían realizarse más menciones hasta un total de, al menos, seis incluyendo las pruebas preliminares originales y aplicarse los ejemplos b) y c).
- b) Si se realizaron más mediciones por cada GES, puede utilizarse la media geométrica (MG) o la media aritmética (MA) de las primeras mediciones, que se ajustan respectivamente a una distribución log-normal o normal, para decidir el intervalo como se indica a continuación. Después de ese intervalo, se debería repetir la prueba preliminar indicada en el apartado 5.1.1 de la norma UNE-EN 689:2019 y, si es apropiado, la prueba estadística:

		(MG o MA)	<	0,10·VLA	36 meses
0,10·VLA	<	(MG o MA)	<	0,25·VLA	24 meses
0,25·VLA	<	(MG o MA)	<	0, 50·VLA	18 meses
0, 50·VLA	<	(MG o MA)			12 meses

- c) Si se realizaron al menos seis mediciones para un GES en la prueba de conformidad inicial. Y se aplicó la prueba estadística recogida en el ‘Anexo F’ de la norma UNE-EN 689:2019, los resultados pueden utilizarse para decidir el intervalo entre la prueba de conformidad inicial y las mediciones periódicas, comprobando, como se indica a continuación, para qué fracción del VLA los resultados indicarían que el GES cumple, adaptando la fórmula (F.3) a la fórmula (I.1) e (I.2.).

(F.3) Distribución log-normal de los resultados (U_R)
$U_R = \frac{l_n(VLA) - l_n(MG)}{l_n(DSG)}$

(I.1) Distribución log-normal de los resultados (I_R)	(I.2) Distribución normal de los resultados (U_R)
$I_R = \frac{l_n(j \times VLA) - l_n(MG)}{l_n(DSG)}$	$U_R = \frac{(j \times VLA) - (MA)}{DS}$

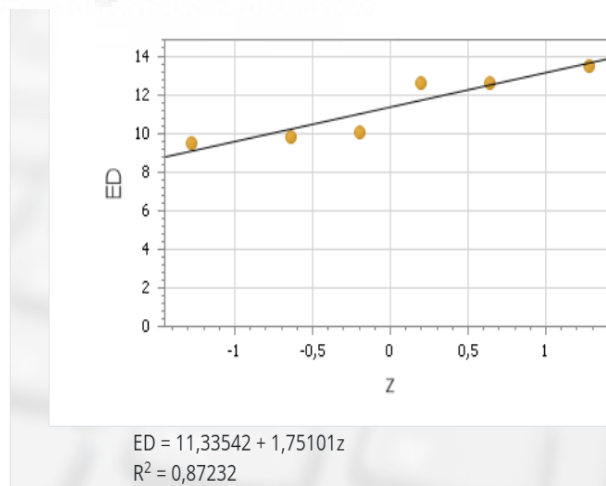
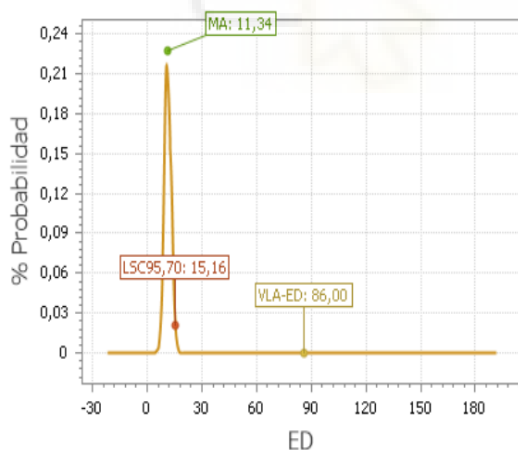
Siendo:					
j	Es una fracción, tal y como se indica más abajo.				
U_R	<p>Se compara con U_T en la tabla F.1 de la norma UNE-EN 689:2019 para determinar la conformidad con la fracción j del VLA, como en el 'Anexo F' de dicha norma.</p> <p>Si la distribución encontrada es conforme ($U_R > U_T$), entonces el intervalo de mediciones periódicas viene dado por:</p>				
		j	<	0,25	→ 36 meses
	0,25	<	j	<	0,50 → 30 meses
	0,50	<	j	<	1,00 → 24 meses

Si la ED de cualquier medición resulta superior al Valor Límite, se considerará la exposición no aceptable y se deberán determinar las causas, aplicar las medidas preventivas necesarias para reducir la exposición y volver a evaluar la exposición, ya que se da uno de los requisitos que obligan a ello.

6.1. Conclusiones de los resultados obtenidos.

6.1.1.- Estireno.

RESULTADO		
<p>Nivel de exposición ACEPTABLE</p> <p>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.</p>		
DISTRIBUCIÓN NORMAL	ESTADÍSTICOS	PRUEBA ESTADÍSTICA
<p>W (Shapiro-Wilk) = 0,848</p> <p>W_{crítico} = 0,788</p>	<p>MA = 11,3354</p> <p>DS = 1,751</p>	<p>LSC_{95,70} = 15,16</p> <p>U_R = 42,64</p> <p>U_T = 2,187</p>
<p><u>Sugerencia:</u> Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 36 meses.</p>		
<p>Código de recuperación de datos: 3724108</p>		



Según los resultados obtenidos los niveles de exposición se consideran **ACEPTABLES**.

Dado que ya se han obtenido **seis muestras válidas** con las actuales características de la empresa, los resultados obtenidos nos permiten obtener las pruebas estadísticas para valorar mejor la exposición de los trabajadores a lo largo del tiempo, no finalizando los estudios aquí,

ya que la evaluación de riesgos es un documento vivo: Se deberán realizar **nuevas mediciones en un plazo máximo de: 36 Meses.**

Aun habiendo obtenido resultados aceptables, dado que se constata una exposición de los trabajadores a vapores orgánicos durante los trabajos de fabricación de perfiles, se deberán seguir utilizando los equipos de protección individual durante la realización de dichas tareas. Igualmente, se deberá continuar haciendo correcto de las medidas de protección colectiva con las que cuenta la empresa (envases cerrados, limpieza del centro, etc.), para mantener aceptables dichos niveles.

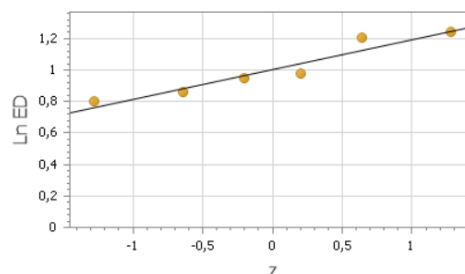
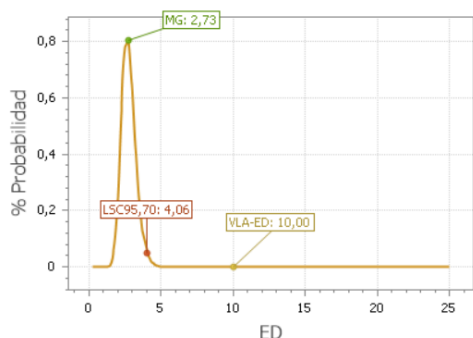
Si se realizan cambios en el proceso productivo (Nuevos equipos de trabajo, nuevos productos químicos, nuevo sistema de trabajo, cambios en los equipos de protección colectivos, etc.) se deberán reiniciar las pruebas preliminares de valoración del riesgo de exposición a vapores orgánicos en la empresa.

6.1.2.- Materia particulada.

RESULTADO		
<p>Nivel de exposición</p> <p>ACEPTABLE</p> <p>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.</p>		
DISTRIBUCIÓN LOG NORMAL	ESTADÍSTICOS	PRUEBA ESTADÍSTICA
<p>W (Shapiro-Wilk) = 0,904</p> <p>W_{crítico} = 0,788</p>	<p>MG = 2,7333</p> <p>DSG = 1,199</p>	<p>LSC_{95,70} = 4,06</p> <p>U_R = 7,16</p> <p>U_T = 2,187</p>
<p><u>Sugerencia:</u> Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 30 meses.</p>		
Código de recuperación de datos: 4188010		

Sugerencia: Realizar nuevas mediciones para evaluar la exposición de una o más jornadas de trabajo en un periodo máximo de 30 meses.

Código de recuperación de datos: **4188010**



$$\text{Ln ED} = 1,00553 + 0,19048z$$

$$R^2 = 0,92322$$

Los resultados obtenidos evidencian que los valores límite de exposición diaria (VLA-ED) para materia particulada, fijados en 10 mg/m³ para partículas inhalables, se encuentran dentro de los umbrales normativos **ACEPTABLES**, obtenidos según la norma UNE-EN 689:2019, como se puede observar en los cálculos realizados y en el calculador del INSST.

El análisis realizado para evaluar **los efectos crónicos** de la exposición a materia particulada, la aplicación de los múltiplos de los valores de referencia pone de manifiesto la existencia de situaciones de riesgo potencial. Específicamente, un valor obtenido para 3xVLA-ED supera el umbral de referencia, mientras que todos los valores para 5xVLA-ED sobrepasan los límites permisibles.

Desde el punto de vista de salud laboral y control de riesgos, de acuerdo con la legislación, los valores obtenidos de 5xVLA-ED sean superiores al umbral de referencia implica una **SITUACIÓN DE EXPOSICIÓN INACEPTABLE**, requiriendo la **necesidad inmediata de medidas correctivas** para minimizar la exposición y garantizar un ambiente de trabajo seguro.

Dentro de las acciones correctoras recomendadas para disminuir los niveles de materia particulada y minimizar la exposición se incluyen:

- **Mejoras en los sistemas de ventilación:** Implementación de ventilación por extracción localizada en las zonas con mayor producción de partículas y en la ventilación general de la zona de trabajo.

- **Sistemas para capturar contaminantes en el punto de emisión:** empleo de filtros altamente eficientes, ciclones o precipitadores electrostáticos para disminuir las partículas en suspensión.
- **Mejora de los procesos de producción:** Implementación de técnicas que reduzcan la producción de polvo, tales como la automatización de ciertas tareas y la utilización de materiales con menor capacidad para generar partículas.
- **Revisar y optimizar las medidas de control colectivo,** tales como sistemas de ventilación y extracción localizada, con el fin de reducir la dispersión de las partículas.
- **Mantenimiento preventivo de equipos y sistemas:** Revisión periódica y limpieza de los sistemas de extracción y filtrado para garantizar su eficacia.
- **Mantener y reforzar el uso de Equipos de Protección Individual (EPI):** Es obligatorio utilizar mascarillas con filtros apropiados durante la ejecución de tareas que produzcan polvo en el ambiente.
- **Formación y sensibilización del personal:** Formación continua en buenas prácticas de higiene industrial y el uso adecuado de los EPI.
- **Supervisión y seguimiento periódico de la exposición:** Realización de mediciones periódicas para valorar la eficacia de las medidas puestas en marcha y modificar las estrategias si se requiere.
- **Reevaluar la exposición si se introducen cambios en el proceso productivo,** como la incorporación de nuevos equipos de trabajo, modificación en los sistemas de ventilación o cambios en los EPI. En estos casos, será necesario reiniciar las pruebas preliminares de valoración del riesgo de exposición.

La aplicación de estas medidas permitirá la reducción de las concentraciones obtenidas de 3xVLA-ED y 5xVLA-ED, garantizando la seguridad y salud de los trabajadores y asegurando la conformidad con los criterios de higiene industrial y salud laboral.

6.2. Protecciones colectivas existentes en la empresa.

- Se dispone de sistemas de aspiración instalado en la zona de mezcla.
- La zona de mezclas cuenta con una cabina cerrada, manteniéndose las puertas de la misma mientras no hay trabajadores en el interior preparando las mezclas.

- Los envases disponen de tapa de protección que se mantiene cerrada mientras no se vierte el líquido.
- Se mantienen abiertas portones y ventanas para facilitar la ventilación de la nave.
- Se dispone de sistemas de aspiración instalados en la mayoría de los equipos de trabajo, así como sistema de corte al agua en el resto para reducir la expulsión de polvo hacia los trabajadores y el resto de la nave.

6.3. Equipos de protección individual disponibles en la empresa.

Los trabajadores disponen de equipos de protección respiratoria con filtro ABEK1 (EN 140+ EN14387), guantes para productos químicos (EN 374), y ropa de trabajo (EN 13034) suministrados por la empresa y conoce la obligación de su uso durante las labores con estos equipos.



Figura 21. Equipos de protección respiratoria que disponen los trabajadores.

Los trabajadores disponen de equipos de protección respiratoria FFP2 suministrados por la empresa y conoce la obligación de su uso durante las labores con estos equipos:



Figura 22. Protección respiratoria FFP2 que disponen los trabajadores.

6.4. Medidas preventivas.

En este apartado se procede a exponer las medidas preventivas, resultado de la evaluación de riesgos, con objeto de conocer las actuaciones a llevar a cabo para que dichos riesgos no se materialicen en accidentes o incidentes en la empresa.

Los trabajadores deberán conocer dichas medidas preventivas y estar formados e informados de los posibles riesgos que puedan existir en la empresa.

La calificación obtenida en la evaluación, es resultado de la comparación con la normativa de referencia y/o el nivel de riesgo, en función de la probabilidad y consecuencias estimadas.

• ESTIRENO.

Para la exposición a **Estireno**, puesto que el resultado de las muestras tomadas ha resultado **ACEPTABLE**, se deberán continuar con las medidas adoptadas en el área de trabajo, manteniendo controlados los niveles de emisión de vapores orgánicos en el ambiente laboral.

Principalmente las medidas van a ir encaminadas a evitar la producción y transmisión de vapores orgánicos en el interior.

Las medidas preventivas para la exposición a vapores orgánicos de los trabajadores son las siguientes:

PUESTO	PRODUCCIÓN
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS - GENERAL
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Los trabajadores que realicen las labores con los vapores orgánicos descritos, deberán disponer de los equipos de protección individual marcados por el fabricante del producto químico (Mascarillas, gafas, guantes, ropa, ...). - Se establecerán la limpieza diaria del centro de trabajo para retirar los residuos de los productos químicos manipulados. Se deberán utilizar los equipos de protección individual descritos por el fabricante en la correspondiente Ficha de Datos de Seguridad. - Cuando se realicen las labores de limpieza de los productos químicos del centro, se hará uso de los equipos de protección individual marcados por el fabricante (Mascarillas, gafas, guantes, ropa, ...)

PUESTO	PRODUCCIÓN
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS - GENERAL
	<ul style="list-style-type: none"> - Los trabajadores deben lavarse bien antes de comer y cuando se prevean largas pausas de trabajo. - Se prohíbe comer en las zonas de trabajo. - Se dispondrá de una buena ventilación natural en el centro de trabajo. - Se dispondrá de sistema de aspiración localizada instalado en la zona de trabajo de mezclado con el producto químico medido. Dichos sistemas de aspiración deberán ser revisados según lo indicado por el fabricante.
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS – EQUIPOS DE TRABAJO
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> - En la zona de mezclado dispondrá de sistemas de extracción localizada. El punto de absorción deberá estar lo más próximo posible al punto donde se genera el contaminante. El producto captado debe ser dirigido, utilizando conducciones herméticas, a un sistema de depuración que impida la contaminación del aire exterior. - Se establecerán revisiones periódicas de los sistemas de extracción localizada, comprobando su correcto estado y limpieza de los filtros.
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS – PRODUCTOS QUÍMICOS
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	<ul style="list-style-type: none"> - Las Fichas de Datos de Seguridad estarán a disposición de los trabajadores que así lo soliciten. - Las Fichas de Datos de Seguridad deberán ser conocidas por todos los trabajadores que los manipulen. - Se realizarán los preparados químicos según el procedimiento marcado por la empresa, respetando cantidades y comprobando la compatibilidad de los mismos. - Se dispondrá de sustancia inertizadora según lo indicado en las Fichas de Datos de Seguridad para retirar posibles derrames. Cualquier derrame será retirado de inmediato. - Los envases para el traslado del producto ya mezclado deben disponer de tapa mientras no se esté vertiendo la mezcla en las bandejas (está presente en la zona de trabajo). - No se dejarán destapados para impedir que los vapores pasen al aire del centro de trabajo.

PUESTO	PRODUCCIÓN
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS - GENERAL
	- Siempre que sea posible, se deberán elegir productos químicos con el menor contenido posible de sustancias químicas peligrosas (estireno en este caso).
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS – TAREAS
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	Las operaciones de preparación mezclado y vertido de los compuestos químicos deberán ser realizadas por personal formado, utilizando los equipos de protección individual establecidos por el fabricante de dichos productos.
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS – VIGILANCIA DE LA SALUD
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	Para los trabajadores que desarrollan su actividad con exposición a vapores orgánicos, se establece la revisión obligatoria de la vigilancia de la salud.

Tabla 30. Medidas preventivas para la exposición a vapores orgánicos.

• MATERIA PARTICULADA.

Puesto que el resultado de las muestras tomadas ha resultado **NO ACEPTABLE** se deberá realizar medidas correctivas para reducir la emisión de polvo en el ambiente y evitar que el trabajador se vea afectado.

Además de realizar medidas correctivas, también deben realizar medidas preventivas las cuales van a ir encaminadas a evitar la producción y transmisión de polvo en el interior.

Las medidas preventivas para la exposición al polvo de los trabajadores son las siguientes:

PUESTO	PRODUCCIÓN-ALMACÉN.
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS - GENERAL
EXPOSICION A POLVO AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> - Se establecerán la limpieza diaria del centro de trabajo para retirar los residuos de polvo ya que es dañino para las vías respiratorias. - Cuando se realicen las labores de limpieza del centro o de los elementos del sistema de aspiración, se hará uso de los equipos de protección individual en todo momento (mascarillas).

PUESTO	PRODUCCIÓN-ALMACÉN.
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS - GENERAL
	<ul style="list-style-type: none"> - Se deberá conocer las recomendaciones del fabricante de los equipos de trabajo en cuanto al polvo generado por el mismo, especialmente en los equipos de extracción localizada. - Los trabajadores deben lavarse bien antes de comer y cuando se prevean largas pausas de trabajo. - Se prohíbe comer en las zonas de trabajo, debiendo tener un lugar habilitado para ello. - Se dispondrá de una buena ventilación natural en el centro de trabajo.
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS – EQUIPOS DE TRABAJO
EXPOSICION A POLVO AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> - Todas las máquinas que durante su funcionamiento puedan producir polvo deben disponer de un sistema de aspiración localizada de polvo que impida que éste se acumule en la atmósfera y el suelo de la empresa. El punto de absorción deberá estar lo más próximo posible al punto donde se genera el polvo. - El polvo captado debe ser dirigido, utilizando conducciones herméticas, a un sistema de depuración que impida la contaminación del aire exterior. - Si se observa polvo en el suelo de la nave ello indica que los sistemas de captación no funcionan adecuadamente. Muy a menudo ello se debe a que los sistemas de captación no reciben un mantenimiento adecuado, lo que puede representar además un riesgo de explosión.
EXPOSICION A POLVO AMBIENTE	<ul style="list-style-type: none"> - Las operaciones de corte, serrado, rectificado, etc., deberán realizarse por vía húmeda o con captación de polvo. - Se deberá comprobar que dichos sistemas de captación o vía húmeda se encuentran en correcto estado de funcionamiento antes de iniciar los trabajos.
CAUSA	MEDIDAS PREVENTIVAS – VIGILANCIA DE LA SALUD
EXPOSICION A POLVO AMBIENTE	Para los trabajadores que desarrollan su actividad con exposición a polvo ambiente, se establece la revisión obligatoria de la vigilancia de la salud.

Tabla 31. Medidas preventivas para la exposición a polvo ambiente.

6.5. Medidas correctoras.

En este apartado se procede a planificar la actividad preventiva, resultado de la evaluación de riesgos, con objeto de eliminar o controlar y reducir dichos riesgos. Conforme a un orden de prioridades, en función de su magnitud y número de trabajadores expuestos en los mismos.

Teniendo en cuenta la existencia, en su caso, de disposiciones legales relativas a riesgos específicos y los principios de la acción preventiva señalados en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales.

La planificación incluirá:

- Los medios humanos y/o responsable.
- Los medios materiales.
- La asignación de los recursos económicos.

La actividad preventiva se planificará para un periodo determinado, según los plazos previstos (corto, medio o largo plazo); estableciendo fases y prioridades de su desarrollo en función de la magnitud del riesgo y del número de trabajadores expuestos.

La calificación obtenida en la evaluación, es resultado de la comparación con la normativa de referencia y/o el nivel de riesgo, en función de la probabilidad y consecuencias estimadas. Con referencia a ésta se han dado los plazos de cumplimiento.

PLANIFICACION DE LA ACTIVIDAD PREVENTIVA:

Según estos resultados se debe realizar lo siguiente:

- **ESTIRENO**

PUESTO	TODOS	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	Informar a los representantes de los trabajadores sobre los resultados de estas mediciones.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:		
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Inmediato	
■ Fecha Prevista:	01/04/2025	

PUESTO	PRODUCCIÓN	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	Realizar un mantenimiento preventivo mensual del correcto funcionamiento de los sistemas de extracción localizada y sus filtros.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:		
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Implantación continua	
■ Fecha Prevista:	10/04/2025	

PUESTO	PRODUCCIÓN	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A VAPORES ORGÁNICOS	Repetir la medición de exposición de los trabajadores a vapores orgánicos (Estireno) en un máximo de 36 meses para comprobar que se mantienen unos adecuados niveles de exposición.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:	700 €	
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Largo plazo	
■ Fecha Prevista:	10/03/2026	

• **MATERIA PARTICULADA.**

PUESTO	TODOS	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A MATERIA PARTICULADA	Informar a los representantes de los trabajadores sobre los resultados de estas mediciones.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:		
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Inmediato	
■ Fecha Prevista:	01/04/2025	

PUESTO	TODOS	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A MATERIA PARTICULADA	Informar a los representantes de los trabajadores sobre los resultados de estas mediciones.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:		
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Inmediato	
■ Fecha Prevista:	01/04/2025	

PUESTO	CORTE / RECTIFICADO	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A MATERIA PARTICULADA	Estudio si es posible la automatización de estas tareas para reducir o minimizar la generación de materia particulada.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:		
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Corto plazo	
■ Fecha Prevista:	10/06/2025	

PUESTO	CORTE / RECTIFICADO	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A MATERIA PARTICULADA	Revisar y mejorar las medidas de control colectivo, como sistemas de ventilación y extracción localizada, para minimizar la dispersión de partículas.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:		
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Corto plazo	
■ Fecha Prevista:	10/04/2025	

PUESTO	CORTE / RECTIFICADO	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A MATERIA PARTICULADA	Revisión periódica y limpieza de los sistemas de extracción y filtrado para garantizar su eficacia.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:		
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Inmediato	
■ Fecha Prevista:	05/04/2025	

PUESTO	ALMACEN	
CAUSA	MEDIDAS CORRECTORAS	
EXPOSICION A MATERIA PARTICULADA	Repetir la medición de exposición de los trabajadores a polvo ambiente después de realizar las medidas correctivas.	
■ Responsable/s:		Comprobación por la empresa (firma y fecha)
■ Recursos materiales:		
■ Coste estimado:	500 €	
■ Coste real:		
■ Observaciones:		
■ Nivel Prioridad:	Corto plazo	
■ Fecha Prevista:	10/05/2026	

6.6. Propuestas de futuras investigaciones.

Trabajar con poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) tiene riesgos relacionados con la materia partícula y el estireno generado en su proceso. Aunque este trabajo ha permitido medir estas exposiciones y plantear algunas medidas preventivas, quedan aspectos no resueltos que pueden ser abordados en futuras investigaciones. A continuación, se indican algunas posibles líneas de estudio que podrían servir para seguir mejorando la seguridad en este tipo de entornos laborales.

1. Mejoras en los Sistemas de Control de Emisiones.

Los sistemas actuales de extracción de vapores y partículas han demostrado ser eficaces hasta cierto punto, pero todavía se podrían mejorar.

- **Mejoras en los sistemas de control de emisiones:** los sistemas actuales de extracción de vapores y partículas son eficaces hasta cierto punto, se podría mejorar el diseño de estos sistemas de extracción. Un estudio realizado por **López et al. en 2021** afirma que la efectividad de las tecnologías de control de emisiones de vapores y aerosoles depende fundamentalmente del diseño de las campanas extractoras y la velocidad de captura del aire. Sería útil investigar cuál es la configuración óptima de estos recursos para cada proceso particular dentro de la producción de PRFV.
- **Nuevas tecnologías de filtración:** la filtración con HEPA y carbón activado ha logrado optimizar los niveles de COVs y partículas en la producción de pinturas y revestimientos en las investigaciones de **Kim et al. en 2020**. Por lo tanto, se podría aplicar este enfoque al presente caso.
- **Simulación por computadora:** una línea de investigación sería utilizando herramientas como la dinámica de fluidos computacional (CFD), analizar diferentes escenarios de ventilación para encontrar la disposición óptima que más reduzca la dispersión de estireno. (**Zhang et al., 2019**).

2. Efectos de la exposición a largo plazo en los trabajadores.

En este trabajo se ha medido la exposición en momentos concretos, pero no se ha evaluado cómo afecta esta exposición de manera prolongada a la salud de los trabajadores.

- **Efectos en la salud:** Se ha comprobado que la exposición crónica al estireno puede generar problemas neurológicos y hepáticos (**Triebig et al., 2017**). Sería útil realizar estudios de seguimiento a lo largo del tiempo, utilizando biomarcadores como el ácido mandélico en orina para medir la exposición acumulada.
- **Nanopartículas y su riesgo:** Durante el lijado y corte de PRFV se desprenden nanopartículas muy pequeñas que podrían llegar a los pulmones y generar inflamación. Investigaciones recientes han encontrado nanopartículas en la industria de los composites con este potencial efecto dañino (**Koponen et al., 2021**), lo que indica la necesidad de estudiar su impacto en este sector.

3. Interacciones entre los COVs y las partículas en el ambiente de trabajo.

El estireno y las partículas generadas en el proceso de fabricación no actúan solas, sino que combinadas pueden influir en la salud de manera diferente.

- **Mayor toxicidad cuando se combinan:** Las investigaciones han demostrado que la exposición conjunta a partículas y COVs puede agravar la inflamación de los pulmones. Una línea de investigación sería estudiar el efecto conjunto de estos contaminantes en la industria del PRFV.

4. Evaluación de la eficacia de los equipos de protección individual (EPIs)

Las mascarillas y los guantes son parte de las medidas de prevención, pero a veces no se utilizan los más adecuados.

- **Comparación de diferentes tipos de mascarillas:** estudios recientes han mostrado que los filtros de carbón activado son más eficaces respecto a los COVs, y los filtros P3 son más adecuados para partículas (**Schneider et al., 2021**). Una línea de investigación sería comparar la eficacia de diferentes marcas, como 3M, Honeywell, Dräger... en situaciones reales de trabajo.
- **Medición dentro de la mascarilla:** otra posible línea de investigación a seguir podría ser analizar la cantidad de estireno y partículas que pudiesen atravesar el filtro utilizando sensores introducidos dentro de la mascarilla.

7. BIBLIOGRAFÍA.

- Guillemin, M. P. (1982). Human styrene exposure. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 51(2), 139–150.
- Bonanni, R. C., Gatto, M. P., Paci, E., Gordiani, A., Gherardi, M., & Tranfo, G. (2015). Biomonitoring para la valoración de la exposición al estireno en la industria del plástico reforzado con fibra de vidrio: Determinantes e interferencias. *The Annals of Occupational Hygiene*, 59(8), 1000-1011.
- Cousillas, A., Martínez, G., & Mañay, N. (2007). Exposición a estireno en cabinas prefabricadas: Estudio comparativo 2003-2005. *Acta toxicológica argentina*, 15(2), 35-38.
- De la Cierva J, Ed., *Materiales Plásticos: Estructura y Propiedades de los polímeros; Materiales Plásticos, Elastómeros*, Instituto de Plástico y Caucho Edición Extraordinaria de la Revista de Plásticos Modernos, Anuario Plásticos (Madrid) p. 3—291. 1976
- Bernal Domínguez, F. (2008). *Higiene industrial* (5ª ed.). Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSST).
- Menéndez Díez, F. (2012). *Higiene industrial. Manual para la formación del especialista* (12ª ed.). Editorial Lex Nova.
- Gómez Etxebarria, G. (2009). *Manual para la formación en prevención de riesgos laborales. Especialidad de higiene industrial* (7ª ed.). CISS
- Sadhwani Alonso, J. J., & Melián Martel, N. (2017). *Higiene industrial frente a riesgos específicos*. Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- American Industrial Hygiene Association (AIHA). (2015). *La estrategia para la evaluación de la exposición ocupacional*. Fairfax, VA: AIHA
- Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2022). *Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo*. INSST.

7.1. Referencias normativas.

- **Reglamento (CE) No 1907/2006 (REACH):** Este reglamento de la Unión Europea aborda el registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias y preparados químicos.
- **Directiva 98/24/CE:** Relativa a la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con agentes químicos durante el trabajo.
- **Norma UNE-EN 689:2019:** "Atmósferas en el lugar de trabajo. Guía para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición".
- **Norma UNE-EN 482:2012+A1:2015:** "Exposición en el lugar de trabajo. Procedimientos para la determinación de agentes químicos. Requisitos de funcionamiento generales".

7.2. Estudios científicos y técnicos utilizados.

- "Assessing occupational styrene exposure in the European and US Glass Reinforced Plastics industries" (2024): Este estudio desarrolla un método para evaluar la exposición ocupacional al estireno en las industrias europeas y estadounidenses de plásticos reforzados con vidrio.
- "Polystyrene nanoparticles: Sources, occurrence in the environment, and potential risks" (2020): Analiza la presencia de nanopartículas de poliestireno en el medio ambiente y sus posibles riesgos para la salud humana.
- "Styrene revisited—exposure assessment and risk estimation in the reinforced plastics industry" (1991): Reevalúa la exposición al estireno y estima los riesgos en la industria de plásticos reforzados.
- "Exposure–response assessment of cancer mortality in styrene-exposed boatbuilders" (2020): Examina la relación entre la exposición al estireno y la mortalidad por cáncer en constructores de barcos.
- Marcuello Benedicto, D., & Periago Jiménez, J. F. (1995). Exposición laboral a estireno en la fabricación de plásticos reforzados con fibra de vidrio. *Salud y Trabajo*, (109), 19-24.

- Infanson Caballero, S. M. (1999). Valoración del riesgo de la exposición profesional a estireno mediante control biológico. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Laffon Lage, B. (2001). Evaluación de los efectos genotóxicos del estireno. Universidade de Santiago de Compostela.
- Berrocal, I. J. I. (2002). *Control ambiental y biológico de la exposición laboral a estireno* (Doctoral dissertation, Universidad de Murcia).
- Arenaza Amézaga, M. J., et al. (2003). Exposición a estireno en la fabricación de poliéster reforzado con fibra de vidrio. OSALAN.
- Rodríguez Bernal, M. (2018). Estudio descriptivo de la exposición a estireno y su relación con los controles biológicos en los trabajadores de una fábrica de mármol a lo largo de los años. Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Flores Montes, R. (2019). Evolución del riesgo de exposición a estireno en una industria del sector del plástico de la provincia de Alicante. Universidad Miguel Hernández de Elche.



7.3. Consultas Web.

- Agencia europea para la Seguridad y Salud en el Trabajo (EU-OSHA). (Consultado el 04/03/2025). Disponible en: <https://osha.europa.eu/es>.
- Agencia de la Unión Europea ECHA European Chemical Agency. (Consultado el 06/03/2025). Disponible en: <https://echa.europa.eu/es/home>
- Aplicación de resina de poliéster mediante laminado. (Consultado el 07/03/2025). Disponible en: <https://www.insst.es/stp/basequim/009-aplicacion-de-resina-de-poliester-mediante-laminado-manual-exposicion-a-estireno-2012>.
- Fabricación de productos de plástico reforzado con fibra de vidrio. (Consultado el 10/13/2025). Disponible en: <https://www.insst.es/stp/basequim/009/anexo-1-fabricacion-de-productos-de-plastico-reforzado-con-fibra-de-vidrio>.
- Ficha de seguridad de estireno. (Consultado el 07/03/2025).

8. ANEXOS.

Anexo 1: DEFINICIONES.

- **Agente químico:** Cualquier sustancia o mezcla que, en su estado natural o durante su manipulación, producción o uso, pueda suponer un riesgo para la salud y seguridad de los trabajadores.
- **Exposición a un agente químico:** Situación en la que un trabajador entra en contacto con un agente químico en el entorno laboral, ya sea por inhalación, absorción dérmica o ingestión, en concentraciones que pueden representar un riesgo para su salud.
- **Lugar de trabajo:** Cualquier espacio en el que se realicen actividades laborales y donde los trabajadores puedan estar expuestos a agentes químicos.
- **Valores Límite Ambientales (VLA):** Valores límite de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en la zona de respiración de un trabajador.
- **Valor Límite Ambiental – Exposición Diaria (VLA-ED):** Concentración media ponderada de un agente químico en el aire, medida durante una jornada laboral de 8 horas diarias y 40 horas semanales, por debajo de la cual se considera que la exposición no causará efectos adversos en la mayoría de los trabajadores.
- **Valor Límite Ambiental – Exposición de Corta Duración (VLA-EC):** Concentración máxima de un agente químico en el aire a la que los trabajadores pueden estar expuestos durante períodos cortos de tiempo (normalmente 15 minutos), sin que ello implique riesgos para su salud.
- **Mezcla de Agentes.** En ocasiones, para evaluar los efectos toxicológicos, se han de tener en cuenta los efectos aditivos de algunas sustancias.
- **Límite de Desviación (LD).** Valor límite complementario de los VLA para controlar exposiciones por encima de la VLA-ED de aquellos agentes que no tienen VLA-EC. Se establece un $LD = 3 \times VLA-ED$ que no debe superarse durante más de 30 minutos a lo largo de la jornada laboral.

Se establece un $LD = 5 \times VLA-ED$ que no debe superarse en ningún momento.
- **Grupo de Exposición Similar (GES).** Grupo de trabajadores que tiene el mismo perfil general de exposición para el agente o agentes químicos objeto de estudio, debido a la similitud de la forma con la que realizan las tareas.

Anexo 2: Información de los productos.

A 2.1 Ficha de Seguridad (FDS) del Estireno.

Los puntos más importantes de FDS del Estireno son los siguientes:

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE



Estireno ≥99,5 %, para síntesis, estabilizado

número de artículo: **2641**

Versión: **4.1 es**

Reemplaza la versión de: 19.09.2024

Versión: (4)

fecha de emisión: 29.08.2016

Revisión: 09.10.2024

SECCIÓN 1. Identificación de la sustancia o la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1 Identificador de producto

Identificación de la sustancia	Estireno ≥99,5 %, para síntesis, estabilizado
Número de artículo	2641
Número de registro (REACH)	01-2119457861-32-xxxx
Número de clasificación del anexo VI del CLP	601-026-00-0
Número CE	202-851-5
Número CAS	100-42-5

1.2 Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados

Usos pertinentes identificados:	Producto químico de laboratorio Uso analítico y de laboratorio
Usos desaconsejados:	No utilizar en productos que estarán en contacto directo con alimentos. No utilizar para propósitos privados (domésticos). Alimentos, bebidas y pien-sos.

1.3 Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad

Carl Roth GmbH + Co. KG
Schoemperlenstr. 3-5
D-76185 Karlsruhe
Alemania

Teléfono: +49 (0) 721 - 56 06 0

Fax: +49 (0) 721 - 56 06 149

e-mail: sicherheit@carlroth.de

Sitio web: www.carlroth.de

Persona competente responsable de la ficha de datos de seguridad: Department Health, Safety and Environment

1.4 Teléfono de emergencia

Nombre	Calle	Código postal/ciudad	Teléfono	Sitio web
Servicio de Información Toxicológica (SIT)		28232 Madrid	+34 91 562 0420	https://www.mjusticia.gob.es/es/institucional/organismos/instituto-nacional/servicios/servicio-informacion

1.5 Importador

QUIMIVITA PRODUCTS S.L.
Balmes, 245 6ª planta
08006 Barcelona
España

Teléfono: +34 932 380 094

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE


Estireno $\geq 99,5$ %, para síntesis, estabilizado

número de artículo: 2641

Fax: -

e-Mail: quimivita@quimivita.com

Sitio web: www.quimivita.es

SECCIÓN 2. Identificación de los peligros

2.1 Clasificación de la sustancia o de la mezcla

Clasificación según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)

Sección	Clase de peligro	Categoría	Clase y categoría de peligro	Indicación de peligro
2.6	Líquidos inflamables	3	Flam. Liq. 3	H226
3.11	Toxicidad aguda (por inhalación)	4	Acute Tox. 4	H332
3.2	Corrosión o irritación cutáneas	2	Skin Irrit. 2	H315
3.3	Lesiones oculares graves o irritación ocular	2	Eye Irrit. 2	H319
3.7	Toxicidad para la reproducción	2	Repr. 2	H361d
3.9	Toxicidad específica en determinados órganos (exposiciones repetidas)	1	STOT RE 1	H372
3.10	Peligro por aspiración	1	Asp. Tox. 1	H304
4.1C	Peligroso para el medio ambiente acuático - peligro crónico	3	Aquatic Chronic 3	H412

Véase el texto completo en la SECCIÓN 16

Los principales efectos adversos fisicoquímicos, para la salud humana y para el medio ambiente

Se pueden esperar efectos retardados o inmediatos como consecuencia de una exposición a corto o largo plazo. El producto es combustible y puede encenderse por fuentes de ignición potenciales. Tanto el derrame como el agua de extinción pueden contaminar los cursos de agua.

2.2 Elementos de la etiqueta

Etiquetado según el Reglamento (CE) no 1272/2008 (CLP)
Palabra de advertencia
Peligro
Pictogramas

GHS02, GHS07,
GHS08

Indicaciones de peligro

H226	Líquidos y vapores inflamables
H304	Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias
H315	Provoca irritación cutánea
H319	Provoca irritación ocular grave
H332	Nocivo en caso de inhalación
H361d	Se sospecha que daña al feto
H372	Provoca daños en los órganos (órganos del oído) tras exposiciones prolongadas o repetidas
H412	Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE



Estireno ≥99,5 %, para síntesis, estabilizado

número de artículo: **2641**

Consejos de prudencia

Consejos de prudencia - prevención

- P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar
- P280 Llevar guantes/gafas de protección

Consejos de prudencia - respuesta

- P303+P361+P353 EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua [o ducharse]
- P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado
- P308+P313 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico

Reservado exclusivamente a usuarios profesionales

Etiquetado de los envases cuyo contenido no excede de 125 ml

Palabra de advertencia: **Peligro**

Pictograma(s) de peligro:



- H304 Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.
- H361d Se sospecha que daña al feto.
- H372 Provoca daños en los órganos (órganos del oído) tras exposiciones prolongadas o repetidas.
- H412 Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.
- P280 Llevar guantes/gafas de protección.
- P308+P313 EN CASO DE exposición manifiesta o presunta: Consultar a un médico.

Etiquetado de los envases cuyo contenido no excede de 10 ml

Palabra de advertencia: No es necesario

Pictograma(s) de peligro:



- Indicaciones de peligro: No es necesario
- Consejos de prudencia: No es necesario

2.3 Otros peligros

Resultados de la valoración PBT y mPmB

La evaluación de esta sustancia determina que no es PBT ni mPmB.

Propiedades de alteración endocrina

La sustancia tiene un potencial de alteración del sistema endocrino.

SECCIÓN 3. Composición/información sobre los componentes

3.1 Sustancias

Nombre de la sustancia	Estireno
Fórmula molecular	C ₈ H ₈
Masa molar	104,2 g/mol
No de Registro REACH	01-2119457861-32-xxxx

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE


Estireno $\geq 99,5$ %, para síntesis, estabilizado

número de artículo: **2641**

No CAS	100-42-5
No CE	202-851-5
No de índice	601-026-00-0

Para estabilizar:

Nombre de la sustancia	Identificador	%M
4-terc-Butil pirocatecol	No CAS 98-29-3 No CE 202-653-9	0,001 – 0,0015

Sustancia, Límites de concentración específicos y factores M, ETA

Límites de concentración específicos	Factores M	ETA	Vía de exposición
-	-	11 mg/l/4h	inhalación: vapor

Observaciones

Véase el texto completo en la SECCIÓN 16

6.4 Referencia a otras secciones

Productos de combustión peligrosos: véase sección 5. Equipo de protección personal: véase sección 8. Materiales incompatibles: véase sección 10. Consideraciones relativas a la eliminación: véase sección 13.

SECCIÓN 7. Manipulación y almacenamiento

7.1 Precauciones para una manipulación segura

Prever una ventilación suficiente. Evítese la exposición.

Medidas de prevención de incendios, así como las destinadas a impedir la formación de partículas en suspensión y polvo


Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.

Tomar medidas de precaución contra descargas electrostáticas.

Recomendaciones sobre medidas generales de higiene en el trabajo

Lavar las manos antes de las pausas y al fin del trabajo. Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos. No fumar durante su utilización.

7.2 Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades

Mantener el recipiente herméticamente cerrado.

Sustancias o mezclas incompatibles

Observe el almacenamiento compatible de productos químicos. Materiales incompatibles: véase sección 10. Mantener o almacenar alejado de sustancias comburentes.

Proteger contra la exposición externa, como

temperaturas altas, luz directa, radiación UV/luz solar, contacto con aire/oxígeno

Atención a otras indicaciones:

Conectar a tierra/enlace equipotencial del recipiente y del equipo de recepción.

Requisitos de ventilación

Almacene los productos peligrosos que desprendan vapores en lugares permanentemente ventilados. Utilización de ventilación local y general.

Diseño específico de locales o depósitos de almacenamiento

Temperatura recomendada de almacenamiento: 15 – 25 °C

7.3 Usos específicos finales

Noy hay información disponible.

SECCIÓN 8. Controles de exposición/protección individual

8.1 Parámetros de control

Valores límites nacionales

Valores límites de exposición profesional (límites de exposición en el lugar de trabajo)

País	Nombre del agente	No CAS	Identificador	VLA-ED [ppm]	VLA-ED [mg/m³]	VLA-EC [ppm]	VLA-EC [mg/m³]	VLA-VM [ppm]	VLA-VM [mg/m³]	Anotación	Fuente
ES	estireno	100-42-5	VLA	20	86	40	172				INSHT

Ficha de datos de seguridad

conforme al Reglamento (CE) no 1907/2006 (REACH) modificado por 2020/878/UE


Estireno ≥99,5 %, para síntesis, estabilizado

número de artículo: **2641**

Anotación

VLA-EC	Valor límite ambiental-exposición de corta duración (nivel de exposición de corta duración): valor límite a partir del cual no debe producirse ninguna exposición y que hace referencia a un periodo de 15 minutos (salvo que se disponga lo contrario)
VLA-ED	Valor límite ambiental-exposición diaria (límite de exposición de larga duración): tiempo medido o calculado en relación con un periodo de referencia de una media ponderada en el tiempo de ocho horas (salvo que se disponga lo contrario)
VLA-VM	Valor máximo a partir del cual no debe producirse ninguna exposición (ceiling value)

Valores límite biológicos

País	Nombre del agente	No CAS	Parámetro	Anotación	Identificador	Valor	Material	Fuente
ES	estireno	100-42-5	estireno		VLB	0,2 mg/l	sangre venosa	INSHT
ES	estireno	100-42-5	ácido mandélico, ácido benzoilformico	crea	VLB	400 mg/g	orina	INSHT

Anotación

crea Creatinina

Valores relativos a la salud humana

DNEL pertinentes y otros niveles umbrales				
Parámetro	Niveles umbrales	Objetivo de protección, vía de exposición	Utilizado en	Tiempo de exposición
DNEL	85 mg/m ³	humana, por inhalación	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos
DNEL	289 mg/m ³	humana, por inhalación	trabajador (industria)	agudo - efectos sistémicos
DNEL	306 mg/m ³	humana, por inhalación	trabajador (industria)	agudo - efectos locales
DNEL	406 mg/kg pc/día	humana, cutánea	trabajador (industria)	crónico - efectos sistémicos

Valores medioambientales

PNEC pertinentes y otros niveles umbrales				
Parámetro	Niveles umbrales	Organismo	Compartimiento ambiental	Tiempo de exposición
PNEC	0,028 mg/l	organismos acuáticos	agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,014 mg/l	organismos acuáticos	agua marina	corto plazo (ocasión única)
PNEC	5 mg/l	organismos acuáticos	depuradora de aguas residuales (STP)	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,614 mg/kg	organismos acuáticos	sedimentos de agua dulce	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,307 mg/kg	organismos acuáticos	sedimentos marinos	corto plazo (ocasión única)
PNEC	0,2 mg/kg	organismos terrestres	suelo	corto plazo (ocasión única)

Estireno $\geq 99,5$ %, para síntesis, estabilizado

número de artículo: 2641



8.2 Controles de la exposición

Medidas de protección individual, como equipo de protección personal (EPP)

Protección de los ojos/la cara



Utilizar gafas de protección con protección a los costados.

Protección de la piel



• protección de las manos

Úsense guantes adecuados. Adecuado es un guante de protección química probado según la norma EN 374. Para usos especiales se recomienda verificar con el proveedor de los guantes de protección, sobre la resistencia de éstos contra los productos químicos arriba mencionados. Los tiempos son valores aproximados de mediciones a 22 ° C y contacto permanente. El aumento de las temperaturas debido a las sustancias calentadas, el calor del cuerpo, etc. y la reducción del espesor efectivo de la capa por estiramiento puede llevar a una reducción considerable del tiempo de penetración. En caso de duda, póngase en contacto con el fabricante. Con un espesor de capa aproximadamente 1,5 veces mayor / menor, el tiempo de avance respectivo se duplica / se reduce a la mitad. Los datos se aplican solo a la sustancia pura. Cuando se transfieren a mezclas de sustancias, solo pueden considerarse como una guía.

• tipo de material

FKM (caucho de fluorado)

• espesor del material

>0,4 mm

• tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes

>480 minutos (permeación: nivel 6)

• Protección contra salpicaduras - Guantes de protección

• tipo de material: NBR (Goma de nitrilo)

• espesor del material: 0,4 mm

• tiempo de penetración del material con el que estén fabricados los guantes: >30 minutos (permeación: nivel 2)

• otras medidas de protección

Hacer períodos de recuperación para la regeneración de la piel. Están recomendados los protectores de piel preventivos (cremas de protección/pomadas).

Protección respiratoria



Protección respiratoria es necesaria para: Formación de aerosol y niebla. Tipo: A (contra gases y vapores orgánicos con un punto de ebullición de > 65°C, código de color: marrón).

Controles de exposición medioambiental

Mantener el producto alejado de los desagües y de las aguas superficiales y subterráneas.

A 2.2. Ficha informativa: exposición a materia particulada.

Entendemos por polvo la dispersión de partículas sólidas en el ambiente. Cuando estas partículas son más largas que anchas, hablamos de fibras.

Desde un punto de vista toxicológico, las partículas de interés para la prevención de riesgos incluyen diversos aerosoles sólidos y líquidos suspendidos en el aire, que pueden ser inhalados por los trabajadores.

Las actividades industriales que originan un exceso de materia particulada son las siguientes: minería, fábrica de abonos y fertilizantes, transformación de pinturas plásticas y colorantes, industria cerámica, canteras, pizarreras y plantas de hormigonado, maderas (elaboración de muebles y aserrado), alimentación (harinas, piensos azúcares), alimentación animal (forraje), fundiciones férreas y no férreas, industrias farmacéuticas, industria textil, industria auxiliar de la construcción así como dedicadas a aislamientos térmicos y acústicos.

La exposición laboral al polvo se ha relacionado con una gran variedad de efectos para el sistema respiratorio. Las partículas de polvo a las que están expuestos los trabajadores que trabajan entornos polvorientos son causa frecuente de enfermedades del sistema respiratorio.

Tradicionalmente, las neumoconiosis (enfermedades por exposición a polvos) han sido consideradas como profesionales. Se producen muchos otros casos de enfermedades respiratorias (asma, bronquitis crónica, enfisema pulmonar) en las que la exposición laboral a polvo juega un papel importante y, sin embargo, se consideran enfermedades comunes.

Las partículas pequeñas pueden llegar a los pulmones y allí producir asma, bronquitis crónica, EPOC, obstrucción respiratoria crónica, así como neumoconiosis, llegando incluso a producir sensibilización a los trabajadores expuestos.

Por otro lado, la presencia de polvo en el ambiente puede ser causa de explosión en el centro de trabajo, por lo que en estas zonas donde se utiliza se prestará especial atención y no se permitirá hacer fuego, llamas, chispas, etc., a menos que este riesgo esté controlado.

El polvo reduce la productividad e incrementa los costes de mantenimiento.

La mayoría de la gente preferiría trabajar en un entorno limpio donde el cuerpo, la ropa y el ambiente permanezcan limpios y no sea necesario llevar ningún equipo de protección individual.

Trabajar en nubes de polvo también aumenta el riesgo de daños debido a la visibilidad reducida y puede distraer a los empleados por irritaciones en los ojos, estornudos, toses o sonarse la nariz. Pero este no es el único motivo para hacer frente al polvo.

Puede aumentar su productividad considerablemente y reducir los costes de mantenimiento con las siguientes medidas contra el polvo:

- Reduciendo el tiempo de preparación: no se pierde apenas tiempo acordonando el área requerida antes de comenzar el trabajo
- Reduciendo la limpieza: dependiendo de la aplicación puede ahorrar hasta un 99 % el tiempo de limpieza.
- Reduciendo daños de accesorios: como alfombras, muebles y otro mobiliario.

- Aumentando la vida útil de las herramientas: hasta un 60 % y de las piezas insertables hasta un 20 %.
- Incremento de la velocidad de aplicación: hasta un 20 % con herramientas más limpias y afiladas.

Señalización de las zonas con polvo ambiente:



¿Qué hay que saber para evaluar el riesgo?

¿Cuál es la composición del polvo? Según el tipo de partículas, los efectos sobre la salud pueden ser más o menos graves.

No obstante, no hay polvos inocuos; cualquier exposición a polvo supone un riesgo. En general, el polvo provoca irritación de las vías respiratorias y, tras exposiciones repetidas, puede dar lugar a bronquitis crónica. Otros tipos de polvo provocan enfermedades específicas (amianto, sílice, plomo).

Hay tipos de polvo que, además, pueden ser explosivos en ambientes confinados (carbón, caucho, aluminio).

Para conocer el tipo de polvo, a veces, es suficiente con saber la composición del material que lo origina. Otras veces, hay que recurrir al análisis químico de muestras de aire.

¿De qué tamaño son las partículas?

Las partículas más pequeñas son las más peligrosas: permanecen más tiempo en el aire y pueden penetrar hasta los lugares más profundos de los bronquios. El mayor riesgo está, pues, en el polvo que no se ve. Por esto suele medirse no el total de polvo atmosférico, sino sólo el llamado «polvo respirable».

El «polvo respirable» es la fracción de polvo que puede penetrar hasta los alvéolos pulmonares.

Fracción inhalable:	La fracción másica del aerosol total que se inhala a través de la nariz y la boca.
Fracción extratorácica:	La fracción másica de las partículas inhaladas que no penetran más allá de la laringe.
Fracción torácica:	La fracción másica de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe.
Fracción traqueobronquial:	La fracción másica de las partículas inhaladas que penetran más allá de la laringe, pero que no pueden penetrar en las vías respiratorias no ciliadas.

Fracción respirable:	La fracción másica de las partículas inhaladas que penetran en las vías respiratorias no ciliadas
-----------------------------	---

Tabla 32. Tipos de fracción de polvo respirable.

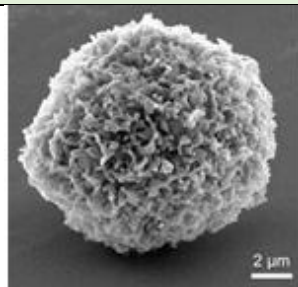
TAMAÑO DE LAS PARTÍCULAS	CAPACIDAD DE PENETRACIÓN PULMONAR		
≥ 50 micras	No puede inhalarse	----	
10 – 50 Micras	Retención en nariz y garganta	Fracción inhalable	
≤ 5 micras	Penetran hasta el alveolo pulmonar	Fracción respirable	
NOTA: 1 micra = 0,001 mm.			

Tabla 33. Tamaño de partícula y capacidad de penetración pulmonar.

¿Qué cantidad de polvo hay en el ambiente?

Algunos problemas pueden identificarse sin necesidad de mediciones: nubes visibles de polvo, escapes de polvo de máquinas o instalaciones, acumulación de polvo en suelos o paredes, incorrecto funcionamiento de extractores, etc.

Sin embargo, la forma de saber con exactitud cuánto hay es pesar el polvo recogido en una muestra de aire mediante filtros apropiados. Se separa la fracción respirable y se mide su masa (en mg/m³) por un método denominado gravimetría.

La toma de muestras puede hacerse por medio de muestreadores personales (la persona lleva consigo el aparato) o mediante muestreo estacionario (aparato fijo en un punto).

¿Cómo se produce la exposición a polvo?

Hay que conocer los puntos y el origen de la emisión de polvo e identificar el colectivo de trabajadores y trabajadoras expuestos.

La medida de la concentración de polvo suele referirse a 8 horas/día, por lo que si el tiempo de exposición es mayor o menor, deberá ajustarse el cálculo a la realidad.

También hay que tener en cuenta que el riesgo de exposición a polvo puede incrementarse, por condiciones de trabajo que provoquen un aumento de la respiración: calor, esfuerzo físico, estrés, etc.

Si, además de polvo hay gases o vapores en el ambiente, éstos impregnarán las partículas y pueden potenciar su nocividad.

Igualmente, se puede producir una contaminación química adicional del polvo por el propio manipulado de materiales (p.e. fibras textiles con tintes o aprestos).

Por último, hay que considerar las características personales de las personas expuestas, sus posibles enfermedades pulmonares previas, así como el hábito de consumo de tabaco.

¿Qué daños se pueden producir?

Hay una serie de enfermedades específicas relacionadas con los distintos tipos de polvos.

El Consejo Interterritorial del Sistema Nacional de Salud ha aprobado un Protocolo para la Vigilancia de la Salud de las Enfermedades Respiratorias de mecanismo alérgico (asma, alveolitis y rinitis alérgica), que deberá tenerse en cuenta por los profesionales sanitarios de los Servicios de Prevención.

Entre los efectos nocivos del polvo hay que tener en cuenta:

EFFECTOS RESPIRATORIOS	
Neumoconiosis	Silicosis, asbestosis, neumoconiosis de los mineros del carbón, siderosis, aluminosis, beriliosis, etc.
Cáncer pulmonar	Polvo conteniendo arsénico, cromatos, níquel, amianto, partículas radiactivas, etc.
Cáncer nasal	Polvo de madera en la fabricación de muebles y polvo de cuero en industrias de calzado.
Irritación respiratoria	Traqueítis, bronquitis, neumonitis, enfisema y edema pulmonar.
Alergia	Asma profesional y alveolitis alérgica extrínseca (polvos vegetales y ciertos metales).
Bisinosis	Enfermedad pulmonar por polvos de algodón, lino o cáñamo.
Infección respiratoria	Polvos conteniendo hongos, virus o bacterias.
EFFECTOS GENERALES	
Intoxicación	El manganeso, plomo o cadmio pueden pasar a sangre una vez inhalados como partículas.
OTROS EFECTOS	
Lesiones de piel	Irritación cutánea y dermatosis (berilio, arsénico, ácido crómico, plásticos, etc.).
Conjuntivitis	Contacto con ciertos polvos.

EFECTOS RESPIRATORIOS	
Riesgo de explosión	Las materias orgánicas y metales sólidos pulverulentos, dispersados en el aire en forma de nube, pueden arder con violencia explosiva. Tal es el caso de fábricas de, pulido de metales, etc.

Tabla 34. Efectos nocivos del polvo.

¿Cuánto polvo es demasiado polvo?

Aunque, como ya hemos dicho, ninguna exposición a polvo se puede calificar de sana o segura, grupos de expertos han fijado unos límites técnicos. Estos límites determinan, para diferentes tipos de polvo, qué valores de la fracción respirable se consideran «demasiado polvo».

Algunos de estos límites vienen recogidos en la legislación, con lo que se convierten en una obligación para los empresarios.

Otros pueden usarse como valores de referencia que no deben ser superados. Sin embargo, en general, cualquier límite que no garantice suficientemente la salud de los trabajadores y trabajadoras puede y debe ser rebajado mediante la negociación colectiva.

No es aceptable utilizar los límites de exposición a polvo como una línea divisoria entre situaciones absolutamente seguras e inseguras y, menos aún, servirse de los límites como excusa para no mejorar las condiciones de trabajo o para negar la relación entre exposición y enfermedad.

En general, se considera que ninguna persona debe estar expuesta a polvo (conjunto de partículas insolubles en agua que no contienen amianto y su concentración en sílice cristalina es menor del 1%) en concentraciones superiores a (para 8 horas de trabajo).

- 10 mg/m³ de **polvo total** (polvo total = conjunto de partículas que se inspiran de todo el conjunto de materias en suspensión presentes en el aire).
- 3 mg/m³ de **fracción respirable** (fracción respirable = parte del polvo total que llega hasta los alvéolos pulmonares).

El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el trabajo, publica anualmente unos Límites de Exposición profesionales, mostrándose a continuación los datos para exposición polvo (Valores VLA 2025):

VLA 2025 INSST		
Nº CAS	AGENTE QUÍMICO	VALOR
No Dispone	Algodón	0,2 mg/m ³
7429-90-5	Aluminio (En Polvo)	10,00 mg/m ³
12001-29-5	Amianto - Crisotilo (*)	0,10 fibras/cm ³
12001-28-4	Amianto - Crocidolita (*)	0,10 fibras/cm ³
132207-32-0 132207-33-1 77536-66-4 12172-73-5 77536-67-5 77536-68-6	Amianto - Otros (*)	0,10 fibras/cm ³
7440-38-2	Arsénico (*)	0,10 mg/m ³
No Dispone	Carbón (Fracción Respirable) -Antracita	0,40 mg/m ³ 0.90
65997-15-1	Cemento portland (Polvo Total)	4,00 mg/m ³
No Dispone	Cereales (Avena, Trigo, Cebada)	4,00 mg/m ³
9002-86-2	Cloruro de Polivinilo (PVC) (Fracción Respirable)	1,50 mg/m ³
7440-50-8	Cobre (Fracción Respirable)	0,01 mg/m ³
1302-74-5	Esmeril	10,00 mg/m ³
No Dispone	Fibras manufacturadas: Fibras vítreas artificiales	1,00 fibras/cm ³
No Dispone	Fibras manufacturadas: Fibras vítreas artificiales (*)	0,50 fibras/cm ³
7782-42-5	Grafito natural (Fracción Respirable)	2,00 mg/m ³
No Dispone	Madera (Polvo Total)	5,00 mg/m ³
7439-96-5	Manganeso elemental (Fracción Inhalable)	0,20 mg/m ³
7439-96-5	Manganeso elemental (Fracción Respirable)	0,05 mg/m ³
12001-26-2	Mica (Fracción Respirable)	3,00 mg/m ³
No Dispone	Otras fibras artificiales o sintéticas (p-Aramida, etc.)	1,00 fibras/cm ³
1309-37-1	Óxido de Hierro (III), como Fe	5,00 mg/m ³
1309-48-4	Óxido de Magnesio (Humos y Polvo)	10,00 mg/m ³
No Dispone	Partículas (insolubles o poco solubles) no	10,00 mg/m ³
No Dispone	Partículas (insolubles o poco solubles) no	3,00 mg/m ³
14464-46-1	Sílice cristalina - Cristobalita (*)	0,05 g/m ³
14808-60-7	Sílice cristalina - Cuarzo (*)	0,05 mg/m ³
14807-96-6	Talco (Fracción Respirable)	2,00 mg/m ³
(*) Productos cancerígenos o sospechosos de serlo. Es por ello que no tienen un valor seguro de utilización.		

Tabla 35. Límites de exposición profesional para agentes químicos 2025 para exposición al polvo.

¿Cómo prevenir?

La principal medida preventiva a tomar es evitar que el polvo quede en suspensión, usando principalmente sistemas de protección colectivos como el sistema de aspiración (extracción localizada) en el equipo con que se trabaja. Caso de no ser posible deberíamos optar, como último recurso como los equipos de protección individuales como la mascarilla con filtro para polvo o guantes.

OBJETIVOS PRL	MEDIDAS PREVENTIVAS	POSIBLES ACCIONES
Evitar la producción de polvo.	Sustitución de los agentes químicos peligrosos.	Utilizar pastas, líquidos o granulados en vez de polvo. Utilizar materiales menos nocivos.
	Modificación de los procesos productivos.	Humidificación. Automatización de procesos. Utilizar contenedores en vez de sacas.
Evitar la difusión de polvo.	Aislamiento de Procesos Productivos	Cerramientos.
	Captación de polvo.	Aspiración localizada.
	Renovación del aire.	Ventilación general. Ventilación forzada.
	Impedir acumulación.	Limpieza de locales (aspiración en húmedo). Superficies lisas.
Evitar la captación por los trabajadores.	Equipos de Protección Individual (Medida Provisional / Puntual)	Mascarillas. Filtros. Equipos Autónomos de Respiración.
Vigilancia de la Salud. (Controles Periódicos)	Impedir recaídas o agravamiento de	Cambio de puesto de trabajo.
	Exámenes de salud específicos en función de los riesgos.	Pruebas de funcionalidad respiratoria.

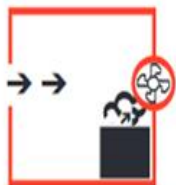
Tabla 36. Medidas preventivas y posibles acciones.

Evitar la difusión del polvo:

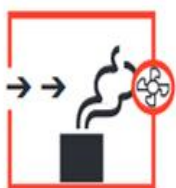


Distribución del aire: La eficacia de la ventilación depende, entre otras cosas de la distribución del aire en el local.

Distribución incorrecta.



Distribución correcta.

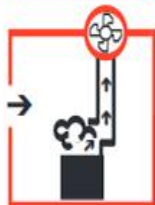


Ventilación general: A veces se trata de una falsa solución.

Situación teórica: Extracción del polvo.



Situación real: Difusión del polvo.



Aspiración localizada: Garantiza una mayor eficacia en la captación del polvo en origen.

Aspiración:



La campana debe situarse de forma que el contaminante no invada la zona de respiración del trabajador/a.

Mal



Bien

Fuente: www.icv.csic.es

Anexo 3: Modelo de formato modelo de formato para la entrega y recepción de Equipos de Protección Individual (EPI) al trabajador.

JUSTIFICANTE DE LA ENTREGA DE EPIS

IDENTIFICACIÓN DE LA EMPRESA	
EMPRESA:	CIF:
IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJADOR	
Nombre y apellidos:	DNI:
Departamento:	
Cargo/Puesto de trabajo:	

Equipos de Protección Individual Entregados.

Nº	EPI	Tipo	Categoría	Clase	Normativa Aplicable	Cantidad	Estado (Nuevo/Reposición)	Fecha de Entrega	Observaciones
1									
2									
3									

Declaración del Trabajador.

Declaro haber recibido los equipos de protección individual detallados en este documento.

Me comprometo a utilizarlos adecuadamente, a mantenerlos en buen estado y a informar de cualquier daño o deterioro que afecte su funcionalidad. Asimismo, confirmo haber recibido la formación necesaria sobre su correcto uso y mantenimiento.

FIRMA DEL TRABAJADOR	FIRMA / SELLO DE LA EMPRESA

Anexo 4: Muestreo.

A 4.1 Especificaciones técnicas de la bomba utilizada.



Especificaciones técnicas

Rendimiento de flujo

Rango de flujo ml/min:	1000-5000
Rango de bajo flujo ml/min:	5-500*
Control de flujo:	<± 5% en el punto de calibrado
Pulsación:	<10% @ 2 l/min
Capacidad de retro-presión:	Véase cuadro separado
Detector de avería:	Reinicio automático

Funcionamiento

Visualización:	Pantalla OLED a color
Controles:	4 botones
Indicadores de estado:	LED rojo/verde
Dimensiones:	112x37x102mm
Peso:	480g

Condiciones ambientales:

Temperatura:	Operación, 0 - 45°C Almacenamiento, -10 - 50°C
Humedad:	30-95% RH (sin condensación)
Presión barométrica:	De corrección automática

Características eléctricas

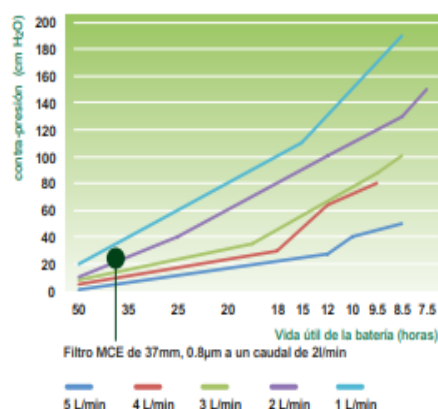
Tipo de batería	De iones de litio (Li-ion)
Indicador de nivel de batería	Si
Vida útil de la batería	Véase cuadro separado
Cargadores	Único o de 5 vías
Tiempo de carga	Normalmente <6 horas

Homologaciones

Cumple con las normas EN1232, ISO 13137, Protección de penetración: IP65

* Requiere adaptador

Contra-presión (cm H₂O) vs. Vida útil de la batería



Variantes del modelo

	Apex2	Apex2 PLUS	Apex2 PRO
Sensor de movimiento	•	•	•
Bolsa de salida	•	•	•
Bluetooth®		•	•
Descarga al ordenador		•	•
Detección de presión de entrada		•	•
Temporizador de duración de ejecución		•	•
Temporizadores completamente programables			•

Información para pedidos

Modelos Apex2

Apex2	Bomba estándar Apex2
Apex2Plus	Bomba Apex2 Plus
Apex2Pro	Bomba Apex2 Pro

Accesorios de Apex2

209055b/KIT	Estación de base única para Bomba Apex2, incluye PSU (fuente de poder universal) y cable USB.
209058b/KIT	Estación de base de 5 vías para Bomba Apex2, incluye PSU (fuente de poder universal) y cable USB.
209025C	Funda de caucho de protección.

Apex2 Kits

APEX2KIT	Kit estándar de 5 vías para Apex2
APEX2PLUSKIT	Kit de 5 vías para Apex2 Plus
APEX2PROKIT	Kit de 5 vías para Apex2 Pro



Anexo 5: Plano de las instalaciones y ubicación de los puntos de muestreo.

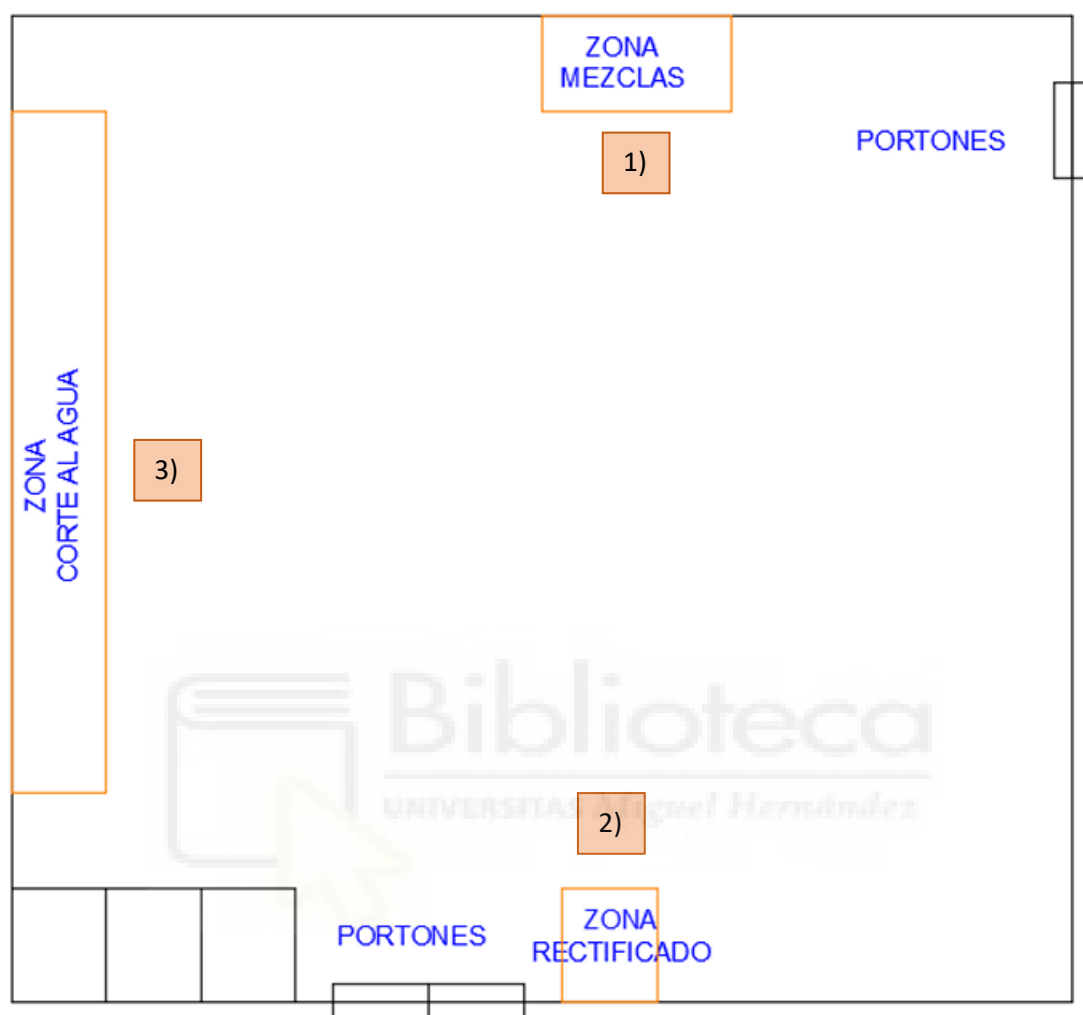


Figura 23. Plano de las instalaciones con puntos de muestreo.

Leyenda:

Puntos de muestreo:

- 1) Zona de mezclas: zona de mayor exposición del contaminante estireno.
- 2) y 3) Zona de rectificado y zona de corte: zona de mayor exposición de materia particulada.

Anexo 6: FICHA TÉCNICA EPIs.



MedopAir I

PESO
98gr

EN140

LA BUCONASAL DE TPE MÁS RESISTENTE

Arnés con red de disminución de peso soportado que aporta comodidad



Fabricada en TPE Hipoalergénico

Pieza facial de diseño parabólico de 6 paneles para una menor condensación interior



Filtro a bayoneta. Máxima hermeticidad

PROTECCIÓN RESPIRATORIA

DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN:



LA INNOVADORA PROTECCIÓN ANTIBACTERIANA PARA UNA MEJOR SALUD LABORAL



CONEXIÓN DE FILTROS A BAYONETA

Conexión a Bayoneta más segura, intuitiva y fácil de colocar



PROTECTOR PINTURA

Protector de filtro pintura (g12885), disponible en bolsas de 10 unidades. No se instalan con la herramienta

Fabricada en TPE hipoalergénica: material muy suave y confortable. Proporciona una excelente protección, confort y ajuste. Ofrece resistencia al calor y la humedad y no es atacada por el ozono. Hidrófuga y no tóxica.

DISEÑO parabólico de 6 paneles para una menor condensación interior. Los filtros se acoplan mediante conexión a bayoneta: conexión guiada, rápida y fácil de abrir y cerrar.

VERSATILIDAD: Gracias al bajo perfil permite una excelente compatibilidad con el **uso combinado de gafa de seguridad** así como el uso conjunto **con otros equipos de protección**. Talla única que se ajusta a todos los tamaños de cara.

COMODIDAD: Flexible y adaptable para mayor comodidad durante periodos prolongados de uso. **Doble sistema de sujeción de arnés a cabeza y nuca.** Permite llevarla al cuello mientras no se usa. Ajuste frontal del arnés. Mayor confort respiratorio gracias a sus dos filtros y su válvula de exhalación.

ERGONOMÍA: Zona de contacto ergonómica estudiada para proporcionar un mayor sellado facial debido al ajuste a la barbilla y los laterales de la cara. Diseños estudiados para cubrir el mayor rango de fisonomías faciales: redondas, alargadas, pequeñas y grandes.

ENTORNO LABORAL MÁS SEGURO: Máscara tratada con **pureon** que evita el **CRECIMIENTO DE HASTA 99'99% DE LAS BACTERIAS** y está testada según **ISO 221196:2011**.

Disponible en	Referencia
Medop Air I	943844
Protector de filtros pintura (bolsa de 10 ud.)	942885



Filtros ABEK1

con conexión a bayoneta
para Buconasal de un Filtro

EN14387



Peso Máximo
128gr

CONEXIÓN A BAYONETA: EL SISTEMA DE CIERRE GUIADO, SEGURO Y FÁCIL DE AJUSTAR



Conexión descentrada para una posición desplazada del filtro, aportando un mayor campo visual.







Excelente compatibilidad con **gafa de seguridad** y otros epis, gracias a la posición de los filtros

PROTECCIÓN RESPIRATORIA

DESCRIPCIÓN Y COMPOSICIÓN:

Filtros con carcasa de alta resistencia. fabricados en materiales hipoalergénicos que no producen efectos nocivos sobre la salud e higiene del usuario. **Diseñados para ofrecer una excelente protección contra** Gases y vapores inorgánicos, Gases y vapores orgánicos con punto de ebullición superior a 65°C, Dióxido de azufre y otros gases y vapores ácidos y Amoníaco y sus derivados. Ofrecen un alto rendimiento para una excelente efectividad filtrante y más durabilidad.

SEGURIDAD: Sistema de conexión de los filtros a Bayoneta que aporta mayor hermetidad. Ofrece una conexión más segura e intuitiva gracias al sistema guiado de conexión.



CONEXIÓN DE FILTROS A BAYONETA

Sistema de conexión de los filtros a Bayoneta, más seguro y fácil de ajustar. Sistema intuitivo de conexión

RESPIRABILIDAD: Los filtros a bayoneta ABEK1 para buconasales de un filtro garantizan una excelente respirabilidad, habiendo superado los estándares marcados por las normativas correspondientes: EN 14387 (Filtros de gases y combinados).

ERGONOMIA: Gracias al conector descentrado del filtro, queda desplazado hacia la barbilla para no reducir el campo visual.


RECOMENDACIONES: En caso de necesidad de uso de filtros combinados (filtros de gases y de partículas), Medop recomienda el uso de buconasales de dos filtros, en las que el peso queda equilibrado y se evita un sobreesfuerzo cervical, sin reducir el campo visual.

Máximo nivel de uso: Filtro Gases, vapores: Nivel de uso 1: Valor límite 1000 ppm; 0,1% volum. EPI categoría III

Tamaño Caja del filtro: 39 mm de altura.

Ref.	Disponible en	Marcado
gt3833	Caja de 6 filtros ABEK1 Single bayoneta	ABEK1

PROTECCIÓN RESPIRATORIA

INFORMACIÓN MARCADOS	
Norma y Certificación	EN 14387 (Equipos de protección respiratoria: Filtros contra gases y filtros combinados)
COMPONENTES	
Silicona *	No contiene
Metal	No contiene
OTRAS CARACTERÍSTICAS	
Aplicaciones	Ambientes con presencia de contaminantes en forma de partículas o gases. No usar cuando la concentración de contaminante excedan el Límite de Exposición Permisible por filtro. La selección del filtro se hará acorde al contaminante y el grado de concentración.
Conservación Almacenaje Caducidad	Almacenar el equipo dentro de su envase y en un lugar fresco y ventilado, evitando la humedad, la suciedad y el polvo. La vida de los filtros está marcada en ellos y es válida para envolturas sin desgarros. Esta fecha de caducidad viene indicada de la siguiente manera:  XX / XXXX (MES / AÑO)
Indicaciones Uso Modo empleo	Este equipo filtra el aire contaminado, pero no proporciona oxígeno. Por ello, no debe usarse cuando el contenido de oxígeno en el ambiente sea inferior al 19,5% en volumen. Salga inmediatamente de la zona de trabajo y reemplace los filtros si durante su uso: <ul style="list-style-type: none"> - Siente dificultad al respirar. - Siente mareos o vértigos. - Huele o nota el sabor a contaminante.
Presentación	Medidas de la caja: 483x262x507mm. Caja de 8 filtros. Cartón de 18 cajas. 
Código de barras	GIN-13: 8423173890933 GIN-14: 18423173890930