



Valoración de los criterios usados para la evaluación de riesgos químicos del área de inyección de plásticos de una empresa del sector de la automoción

Máster universitario en Seguridad y Salud en el Trabajo: Prevención de Riesgos Laborales

Nombre: María Encarnación Moreno Portalo

Tutores académico: Miquel Mira Muñoz

Rudolf van de Haar

Especialidad: Higiene industrial

Barcelona, 25 de junio de 2015

ÍNDICE

1. Resumen ejecutivo	3
2. Introducción	4
2.1. Antecedentes e Introducción a la empresa	8
3. Materiales y métodos	9
3.1. Revisión de la información disponible en la empresa.....	9
3.2. Revisión bibliográfica	9
3.3. Evaluación del riesgo	12
4. Resultados	14
4.1. Referencias bibliográficas	14
4.2. Degradación de polímeros	14
4.2.1. Polibutilenotereftalato (PBT)	14
4.2.2. Acrilonitrilo- butadieno-estireno (ABS).....	15
4.2.3. Poliamida 6.....	15
4.2.4. Policarbonato.....	16
4.3. Toxicidad de los compuestos de degradación	16
4.4. Monitorización biológica de los compuestos de degradación.....	16
4.5. Resultados de evaluaciones anteriores.....	16
5. Discusión	18
6. Conclusiones y recomendaciones	23
7. Bibliografía	24
8. Anexo I: Glosario	27
9. Anexo II: Tablas y figuras.....	30
10. Anexo III: Esquema del área de inyección de plásticos	42

1. RESUMEN EJECUTIVO

Uno de los procesos más utilizados por la industria para producir piezas plásticas es el moldeo por inyección. Al tratarse de un proceso que necesita aporte de calor (entre 200°C y 300°C bajo condiciones normales de trabajo) el material polimérico usado como materia prima se degrada generando distintos compuestos químicos en función de su composición inicial. El objetivo de este estudio es valorar la idoneidad de la evaluación de compuestos químicos que se está llevando a cabo actualmente en una empresa del sector de la automoción, siguiendo los criterios marcados en la normativa UNE-EN 689:1996. Para ello se utilizarán diversas fuentes de datos bibliográficas sobre estudios en esta materia e información aportada por la empresa sobre las materias primas utilizadas, las tareas que se realizan y las evaluaciones de riesgo previamente realizadas.

La revisión bibliográfica fue realizada sobre los cuatro polímeros de mayor uso en la empresa de estudio: ABS, PA6, PC y PBT. Los resultados muestran que una vez alcanzadas sus temperaturas de degradación (dentro de los rangos de temperatura de trabajo) se desprenden al ambiente compuestos tóxicos tales como sensibilizantes o cancerígenos, pudiendo afectar al tracto respiratorio y/o sistema nervioso central del trabajador expuesto.

La evaluación de compuestos químicos realizada actualmente por la empresa muestra la necesidad de mejorar la estrategia de muestreo para obtener unos datos representativos (método y tiempo de duración de la captación, puntos de obtención de las muestras, condiciones ambientales, etc.). En este sentido, se debería de tener en cuenta las tareas críticas, el efecto combinado de las sustancias y la exposición de todos los trabajadores de los distintos departamentos que confluyen en esa área.

2. INTRODUCCIÓN

La industria de la fabricación de plásticos generó a nivel mundial en 2013 un total de 299 toneladas de plástico, de las cuales, 58 toneladas fueron producidas en Europa. En el sector del automóvil, se utiliza el 8,5 % de la producción total de plástico (PlasticsEurope, 2014). En España actualmente existen 1.405 empresas dedicadas al sector automovilístico, incluyendo fabricantes de vehículos de motor, fabricantes de carrocerías y fabricantes de componentes, piezas y accesorios para los vehículos de motor (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014) añadiendo todos ellos, materiales plásticos para su proceso de fabricación. Aunque aproximadamente el 70 % del peso del vehículo está compuesto por materiales metálicos (acero, hierro, níquel), un 14% corresponde a plásticos, sobretodo utilizados en el revestimiento interiores de los vehículos, paneles de instrumentos y piezas de carrocería (Szeteiová, 2011). Debido a las continuas investigaciones sobre nuevos materiales y usos, se prevé que este porcentaje siga en aumento (PlasticsEurope, 2014).

En la industria de fabricación de piezas plásticas, se utilizan diversas técnicas de producción para conformar los distintos componentes. Las más habituales son el *moldeo por compresión* donde el plástico adopta la forma del molde por la presión ejercida; *moldeo a presión* donde el material se calienta en una cavidad y después se introduce mediante un pistón en un molde; la *extrusión* en el cual una máquina ablanda el polímero y lo hace pasar a través de un troquel que le da la forma que retiene al enfriarse o el *moldeo por insuflación de aire comprimido* (Law et al., 2001). Para este estudio, se tratará sobre otro de los procesos más usados en esta industria: *el moldeo por inyección*. Este proceso se inicia introduciendo la materia prima (material polimérico) ya sea en forma de pellets, gránulos o polvo, en un cilindro (conocido como husillo), separado del molde. El material se calienta hasta que se hace fluido mientras se transporta por el husillo mediante un tornillo helicoidal y después se empuja al molde donde se enfría y endurece. Después el molde se abre mecánicamente y se sacan los artículos formados (Law et al., 2001).

La materia prima utilizada para la producción de piezas plásticas son los polímeros. Éstos se pueden clasificar en dos grupos: los *compuestos*

termoplásticos los cuales, un aumento de la temperatura origina en ellos una fusión o reblandecimiento (Mairesse et al., 1999), es decir, son fácilmente deformables por acción de calor y los *compuestos termoestables* que experimentan un cambio químico cuando se calientan y moldean y no se pueden transformar posteriormente mediante la aplicación de calor (Law et al., 2001), por tanto, el efecto del calor es irreversible en ellos cosa que provoca un cambio estructural irreversible, hecho que hace que sean más resistentes (Mairesse et al., 1999). Los polímeros más utilizados en la industria del automóvil son el polipropileno (PP) 28,6%, poliuretano (PUR) 17,4% y la poliamida (PA) 11,9% (PlasticsEurope, 2014). Estos polímeros, generalmente son procesados en pellets, gránulos o polvos, a veces con varios aditivos, pigmentos, retardantes y estabilizadores (Unwin et al., 2008).

Se considera que, a temperatura ambiente, las materias plásticas presentan generalmente poco peligro ya que no hay una ruptura en la cadena polimérica. Sin embargo, no hay que negligir la presencia de monómeros residuales, productos auxiliares, así como los riesgos ligados a las propias resinas que pueden contener y pueden ser peligrosas por inhalación o contacto cutáneo (Mairesse et al., 1999). En cambio, a temperaturas más altas de hasta 400°C, la cadena polimérica se rompe y es cuando se inicia la descomposición, liberando productos volátiles, principalmente hidrocarburos alifáticos y aromáticos (Mairesse et al., 1999).

Durante el proceso de fabricación de las piezas plásticas se generan emisiones de gases tóxicos de diferente composición en función de la materia prima utilizada y de las condiciones de trabajo establecidas. Varios estudios realizados utilizando como materia prima policloruro de vinilo (PVC), polietileno tereftalato (PET), polipropileno (PP), polietileno de alta densidad (HDPE), acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) y poliamida (PA6) (Unwin et al., 2010, Unwin et al., 2012, Meijster et al., 2003) concluyeron que las emisiones de productos de degradación no superaban los niveles de traza. En estos estudios se encontraron sustancias peligrosas entre ellas cancerígenas y sensibilizantes para procesos de inyección de plásticos, moldeo por extrusión y moldeo por insuflación de aire. Otro estudio concluyó, que las concentraciones más

elevadas se obtuvieron en el proceso de moldeo por extrusión (Forrest et al., 1995).

El riesgo que conlleva la exposición a los contaminantes procedentes de fabricación de piezas de plástico depende por un lado de la duración de la exposición y la concentración del contaminante en el aire y por otro lado su toxicidad intrínseca (INSHT, 2013). Para determinar el grado de riesgo se utilizan como referencia los límites de exposición ocupacional de los agentes químicos en el aire, y representan las concentraciones a las cuales se pueden estar expuestos sin sufrir efectos adversos para su salud.

La Norma UNE-EN 689:1996 “Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición” propone tres etapas diferenciadas y consecutivas para la evaluación de la exposición, que comportan la identificación de las exposiciones potenciales, factores de exposición en el lugar de trabajo, y interacciones entre ambos. Estas etapas son: estimación inicial, estudio básico y estudio detallado.

- Estimación inicial: Donde se pretende descartar la presencia del agente químico en el ambiente de trabajo o bien detectar exposiciones cuyo riesgo derivado no es admisible. Para esto se consideran las variables que afectan a las concentraciones ambientales (número de fuentes emisoras, producción, dispersión...) y de las variables relacionadas con el trabajador (proximidad a la fuente emisoras, tiempo y hábitos del trabajador).
- Estudio básico: Este estudio proporciona información cuantitativa sobre la exposición de trabajadores afectados, utilizando fuentes de información tales como mediciones anteriores, mediciones en instalaciones o procesos comparables, cálculos basados en datos cuantitativos apropiados. Para esta fase se pueden usar los modelos de evaluación cualitativos que proporcionan una primera aproximación o diagnóstico sobre la situación higiénica de partida. Estos métodos

emplean variables como la peligrosidad del agente químico, frecuencia de exposición, volatilidad, uso o medidas preventivas de control que permiten clasificar las operaciones evaluadas en distintos niveles de riesgos (INSHT, 2013).

- Estudio detallado: Este estudio tiene como objeto suministrar una información válida y fiable sobre la exposición, conocer cuál es el modelo de la misma y obtener datos cuantitativos de las concentraciones de la exposición laboral para evaluar el riesgo por inhalación, mediante la comparación de dicha concentración con el valor ambiental de exposición diaria (INSHT, 2013). Para realizar este estudio es necesario un plan de mediciones periódicas.

En procesos como en el de inyección de plásticos donde las temperaturas de inyección son elevadas y se utilizan materias primas de diversa complejidad, se pueden emitir sustancias químicas altamente tóxicas. Por este motivo, es importante contar con un sistema de evaluación de riesgo continuado que garantice que las condiciones de trabajo son adecuadas y no afectan a la salud de los trabajadores teniendo en cuenta también la población trabajadora más vulnerables.

El objetivo de este trabajo final de máster es valorar la idoneidad de la evaluación de riesgos higiénicos, concretamente, los compuestos químicos disponibles actualmente en el área de inyección de plásticos de la empresa siguiendo los criterios marcados en la normativa UNE-EN-689:1996.

2.1. ANTECEDENTES E INTRODUCCIÓN A LA EMPRESA

En el año 2011 tuvo lugar un cambio estructural en la empresa que afectó a la organización del departamento de PRL y supuso una verificación e implantación de nuevos procedimientos de evaluación. Esto hizo que se revisaran las evaluaciones higiénicas de agentes químicos en todas las áreas, concluyendo con la necesidad de actualizar el procedimiento de evaluación en el área de inyección de plásticos de esta empresa.

Este estudio está centrado en una empresa del sector de la automoción, encargada de producir componentes electrónicos y electromecánicos para el automóvil, teniendo como clientes las empresas más importantes del sector. El proceso de inyección de plásticos se lleva a cabo dentro del área de inyección, donde se encuentra el departamento de inyección de plásticos. La tipología de los equipos de trabajo y maquinarias usados es diversa. Para este caso, el área de moldeo por inyección se compone de entre unas 35-40 inyectoras con robots incorporados que trabajan a diferentes presiones, cintas de transporte, inyectora con robot y pack-station a parte de equipos auxiliares como atemperadores, mezcladoras o molinos de trituración. Esta área está además compartida con departamento taller de moldes que se encarga de guardar, limpiar, preparar, ajustar, reparar y mantener los moldes de las máquinas de inyección de la empresa. El departamento consta de una zona de taller donde están ubicados los diferentes bancos de trabajo, maquinaria y herramientas necesarias; y de una zona de almacén, donde se ubican los moldes almacenados en estanterías de carga. Conjuntamente con el personal de esta área también trabaja personal del departamento mantenimiento asignado. En el Anexo III se muestra un croquis sencillo sobre la ubicación del área y su distribución. En la tabla 2.1 del Anexo II se muestran los datos pertenecientes a la empresa sobre el área involucrada en el estudio, puestos de trabajo y personal directo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE EN LA EMPRESA

Para la elaboración de este estudio, fue necesario el suministro de información por parte de la empresa sobre el proceso, materias primas, evaluaciones de riesgos y cualquier otro dato relevante. Para ello se utilizó:

- El listado de materias primas utilizadas en el proceso habitual inyección de plásticos, junto con la cantidad anual consumida de cada materia.
- Descripción del área de estudio, distribución y equipamiento de los distintos departamentos ubicados.
- Descripción del proceso que se lleva a cabo, junto con las temperaturas de trabajo utilizadas bajo condiciones normales.
- Personal que desempeña sus funciones en el área de inyección, número de trabajadores, categorías, descripción de puestos de trabajo, tareas habituales y turnos.
- Mediciones higiénicas o evaluaciones realizadas con anterioridad en el área sobre la exposición de agentes químicos.

3.2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Se llevo a cabo una búsqueda exhaustiva de evidencias científicas que indiquen el tipo de comportamiento que pueden tener los polímeros durante el proceso de inyección de plástico, en condiciones normales de trabajo. Es decir, que compuestos se pueden liberar al ambiente sin llegar a temperaturas elevadas o darse procesos pirolíticos o de combustión; y si éstos producirían algún efecto sobre la salud de los trabajadores expuestos.

El análisis bibliográfico se inició por la búsqueda de artículos, estudios y otra documentación en 4 bases de datos de ámbito internacional, que a continuación se detallan:

Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOSH)

<http://ccinfoweb.ccohs.ca/bibliographic/search.html>: Es la base de datos de la Institución canadiense de seguridad y salud laboral. En ella se agrupan las

búsquedas de diferentes bases de datos relacionadas con la salud laboral, como: OSHLINE (base de datos con artículos sobre toxicología, ingeniería o higiene industrial), NIOSHTIC (artículos y estudios de salud y seguridad en el trabajo), NIOSHTIC-2 (misma temática que la anterior pero cubriendo artículos desde 1970), HSELINE (periódicos, libros, actas de congresos, informes y legislación sobre seguridad y salud en el Reino Unido y Europa), CISILO (base de datos bilingüe que incluye materiales de diversos países), Canadiana (artículos y estudios canadienses), PubMed Subset (artículos de medicina y salud ocupacional).

The National Center for Biotechnology Information (NCBI)

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>: Base de datos relacionada con la ciencia y la salud. Ésta se encuentra dividida por diversas áreas de estudio. En ella encontramos Pubmed de US National Library of Medicine National Institutes of Health, con bibliografía relacionada con la rama médica.

Virgo Catalog and Article Search (University of Virginia Library)

<http://search.lib.virginia.edu/>: Catálogo de artículos, revista y otros documentos de la universidad de Virginia (Estados Unidos). Dispone de varias categorías para las diferentes disciplinas científicas. En este catálogo podemos encontrar artículos y estudios concretos para las ciencias de la salud.

National Technical Information Service (NTIS) <http://www.gpo.gov/fdsys> :

En ella están recogidas diferentes publicaciones, normativas y archivos federales de los Estados Unidos.

Scandinavian Journal of Work, Environment & Health <http://www.sjweh.fi> :

Revista escandinava donde se publican artículos relacionados con Medio Ambiente y Salud Ocupacional.

Annals of Occupational Hygiene <http://annhyg.oxfordjournals.org/>:

Base de datos de una de las principales revistas de investigación del mundo sobre los peligros y los riesgos para la salud derivados del trabajo, a nivel mundial.

Occupational Safety and Health Administration (OSHA)

<https://www.osha.gov/pls/publications/publication.html>: Es la base de datos de la administración internacional de salud y seguridad en el trabajo. A parte de

las diferentes funciones de las que ejerce, también tiene un apartado con documentación e investigaciones realizadas en éste ámbito.

Inicialmente, se buscaron términos generales sobre el proceso de degradación de plásticos. Posteriormente la búsqueda se centró en los polímeros utilizados en el proceso de estudio. Ya que se tratan de bases internacionales, todas las palabras clave utilizadas son inglesas, francesas o alemanas. En la tabla 3.1 del Anexo II se detallan las diferentes palabras claves utilizadas.

Para la búsqueda de estudios sobre la toxicidad de los compuestos químicos y sus valores límites ambientales y biológicos, fueron consultadas las bases de datos de institutos y administraciones públicas de varios países de la Unión Europea:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT) - España:
<http://insht.es/>

Die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA)- Alemania: <http://www.baua.de/de/Startseite.html>

Institut national de la recherche scientifique (INRS) – Francia:
<http://www.inrs.fr/>

GESTIS - DNEL Database (IFA) - Alemania:
<http://www.dguv.de/ifa/Gefahrstoffdatenbanken/GESTIS-DNEL-Datenbank/index-2.jsp> Base de datos del Seguro Social Alemán de Accidentes (DGUV) donde se encuentran los valores límite DNEL definidos por el reglamento REACH.

Para la búsqueda de los efectos toxicológicos de los compuestos de degradación de los diferentes polímeros se utilizaron las siguientes bases de datos:

INCHEM <http://www.inchem.org/> : Grupo de bases de datos compuesta por el Programa Internacional de Seguridad Química (IPCS), Centro Canadiense para la Salud y Seguridad Ocupacional (CCOHS) y del Foro Intergubernamental sobre Seguridad Química (FISQ) donde se recogen publicaciones actuales

relacionadas con los productos químicos, hojas de seguridad, toxicología y contaminantes en el medio ambiente y la comida.

TOXNET <http://www.toxnet.nlm.nih.gov/> : Grupo de bases de datos sobre sustancias químicas, enfermedades y medio ambiente, seguridad, salud y toxicología.

Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC)
<http://www.iarc.fr/>

Y finalmente, para la búsqueda de los valores sobre los indicadores biológicos se utilizó la normativa española especificada junto con los VLA que se encuentra en:

Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo (INSHT) - España
<http://www.insht.es/>

3.3. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Para la evaluación cuantitativa de la exposición a agentes químicas se seguirán el método descrito en la normativa UNE-EN 689 aplicable para exposiciones por vía inhalatoria, cuando las condiciones de trabajo están definidas y los agentes químicos disponen de VLA (ver Anexo I) comparables. Los criterios descritos se resumen en:

- Selección de trabajadores expuestos suficientemente representativa para la evaluación, mediante una elección aleatoria de trabajadores o por medio de grupos homogéneos de exposición.
- Selección de las condiciones de medida, teniendo en cuenta todos los factores que afecta a la tarea habitual del trabajador, ritmos de trabajo, condiciones operacionales, ritmos de producción; o mediante la evaluación de las condiciones más desfavorables de la exposición, teniendo en cuenta las tareas críticas.
- Selección del modelo de muestreo, en función de la representatividad de las tareas. Para ello se ha de considerar el patrón de muestreo, la

duración de las muestras, los días de muestreo y las limitaciones del propio método.

- Procedimientos de medida en función de los agentes químicos a medir, el procedimiento de muestreo y su posterior análisis, localización de las muestras, el número de tareas/operaciones que abarca juntos a los tiempo y la tareas a controlar. Siempre que sea posible, este muestreo debe de ser personal.
- Tener en consideración la exposición a mezclas y sus efectos combinados en la exposición.

4. RESULTADOS

4.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

En la tabla 4.1 del Anexo II se presentan el resultado de las referencias bibliográficas encontradas utilizando las bases de datos citadas anteriormente. Se especifica en ella, el número de referencias encontradas para cada palabra clave junto con las referencias válidas para cada uno de los términos clave.

4.2. DEGRADACIÓN DE POLÍMEROS

Para el proceso de inyección de plásticos llevado a cabo en esta empresa, se utilizan aproximadamente 80 tipos de productos químicos compuestos por polímeros. Estos productos se clasificaron en función de su composición polimérica y cantidad de uso, de los cuales resultaron un total de ocho tipos de polímeros diferentes, que se muestran en la tabla 4.2 del Anexo II.

Para simplificar el estudio, se escogieron los 4 principales polímeros más utilizados en la fabricación: polibutileno tereftalato (PBT), policarbonato (PBT), Acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) y poliamida 6 (PA6). A continuación se muestran, para estos cuatro tipos de polímeros, los resultados de la búsqueda bibliográfica sobre sus productos de degradación en condiciones normales de trabajo, número CAS y sus valores límite de exposición ocupacional (OEL) VLA y DNEL (ver Anexo I).

4.2.1. Polibutilenotereftalato (PBT)

El PBT es un poliéster saturado lineal producto de la policondensación de ácido tereftálico con butilenglicol. Sus productos más destacados están destinados a la industria electrónica. Al polímero base se le puede añadir estabilizantes, retardantes de la combustión, grafito o fibra de vidrio para mejorar sus propiedades mecánicas (Farhi et al., 2006). En procesos de moldeo por inyección la temperatura de trabajo está comprendida entre 250°C-270°C (ISO 294-1:1996, 1996). A partir de 230°C el material polimérico se empieza a degradar (Farhi et al., 2006) y se emiten los compuestos que se muestran en la tabla 4.3 del Anexo II. Como se observa, la degradación de este polímero genera principalmente aldehídos como el acetaldehído y la acroleína; (Farhi et

al., 2006) hidrocarburos alifáticos como el etileno; y monóxido y dióxido de carbono.

4.2.2. Acrilonitrilo- butadieno-estireno (ABS)

El ABS es un co-polímero que se produce mediante una combinación de acrilonitrilo y estireno en polibutadieno. Este polímero está principalmente destinado a la fabricación de piezas para automóviles, debido a su dureza. Normalmente lleva añadido lubricantes, antiestáticos, estabilizantes, pigmentos y fibra de vidrio para reforzar su estructura. En procesos de moldeo por inyección la temperatura de trabajo está comprendida entre 250°C-270°C. A partir de 260°C empieza la degradación (Farhi et al., 2006) y se emiten los compuestos que se muestran en la tabla 4.4 del Anexo II. Se observa en la tabla que durante la descomposición se desprende principalmente los monómeros de estireno, 1,3-butadieno y acrilonitrilo. Diferentes estudios (Forrest 1999, Unwin 2008) hayan también la presencia de acroleína, 4-vinilo 1-ciclohexano y naftaleno en menores cantidades.

4.2.3. Poliamida 6

Las poliamidas se caracterizan desde el punto de vista químico por el grupo amida, que se repite a intervalos regulares en la molécula. El número indica el número de átomos de carbonos en sus constituyentes. En este caso, la poliamida 6 se obtiene a partir de una sola clase de monómero, llamado caprolactama (Mattiusi, 2001). Suelen tener como aditivos estabilizantes, lubricantes, pigmentos, retardantes de la combustión o disolventes (Farhi et al., 2006). En procesos de moldeo por inyección la temperatura de trabajo está comprendida entre 250°C-270°C (ISO 294-1:1996, 1996). La degradación del polímero ocurre entre temperaturas de 230°C-260°C (Farhi et al., 2006) y se emiten los compuestos que se muestran en la tabla 4.5 del Anexo II. Los compuestos obtenidos durante la descomposición son principalmente hidrocarburos alifáticos, aldehídos (acetaldehído, acroleína, crotonaldehído), nitrilos (acrilonitrilo, acetonitrilo) cetonas y el monómero principal de caprolactama.

4.2.4. Policarbonato

Los policarbonatos son compuestos macromoleculares obtenidos principalmente de difenilolpropano o bisfenol A por policondensación. Es un material rígido, difícilmente combustible y resistente a impactos. Sus aplicaciones son en el ámbito de la construcción y del automóvil, telecomunicaciones, etc. Junto con el polímero, se les suele incorporar plastificantes, pigmentos, disolventes o estabilizantes (Farhi et al., 2006)). La temperatura de trabajo oscila entre 280°C-320°C (Farhi et al., 2006) Entre 220°C-250°C el polímero inicia su degradación (ISO 294-1:1996, 1996) y se emiten los compuestos mostrados en la tabla 4.6 del Anexo II. Durante el proceso se pueden desprender diversos hidrocarburos alifáticos insaturados, hidrocarburos aromáticos (benceno, tolueno, fenol), trazas de aldehídos, y bisfenol A procedente de su formación.

4.3. TOXICIDAD DE LOS COMPUESTOS DE DEGRADACIÓN

En la tabla 4.7 del Anexo II se muestran los productos de degradación de los polímeros citados anteriormente junto con sus efectos de la exposición en el organismo de los trabajadores y la categoría de agente cancerígeno dada por International Agency for Research on Cancer (IARC) (ver Anexo I), para aquellos compuestos químicos así catalogados.

4.4. MONITORIZACIÓN BIOLÓGICA DE LOS COMPUESTOS DE DEGRADACIÓN

En la tabla 4.8 del Anexo II se presenta el listado de los compuesto que disponen de un valor límite biológico VLB (ver Anexo I) asignado, según lo establecido por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) y las consideraciones a tener en cuenta durante su muestreo.

4.5. RESULTADOS DE EVALUACIONES ANTERIORES

La empresa ha proporcionado diferentes resultados derivados de las mediciones de agentes químicos efectuadas en el área de inyección durante los años 2013 y 2014, los cuales se resumen en las tablas 4.9, 4.10 y 4.11 del Anexo II. Durante el muestreo, se tuvieron en cuenta estas consideraciones.

- Periodicidad: un muestreo anual de contaminantes químicos en el área de inyección.
- Número de jornadas muestreadas : 1
- Tipo de medición: personal por vía inhalatoria.

5. DISCUSIÓN

Durante la búsqueda bibliográfica se constató la dificultad de encontrar estudios relevantes válidos y especializados con la temática de este estudio. De los estudios relacionados con el proceso de inyección de plásticos y los compuestos de degradación, usando las palabras clave mencionadas anteriormente, se encontraron aproximadamente 700 entradas. Prácticamente el 80% de estas investigaciones estaban centradas en otros ámbitos relacionadas con los polímeros, como por ejemplo: nuevos materiales, mejora de propiedades, control de procesos, cinética de las reacciones o reducción de residuos medioambientales.

Del 20% restante de estudios, el 50% de ellos estaban dedicados a polímeros de uso mayoritario o más extendidos, como el PVC (policloruro de vinilo), PET (polietileno tereftalato), PE (polietileno) o PP (polipropileno) y otros polímeros no sujetos a este estudio; o centrados en procesos de combustión, pirolisis o ensayos de laboratorio y otras operaciones muy distintas a la inyección de plásticos.

Otro de los obstáculos durante el proceso búsqueda fue la antigüedad de los estudios. El 40% de ellos fueron realizados durante los años 1970-1990. Si bien se pueden tomar como base, parte de la tecnología utilizada, y de los procesos son obsoletos. De aquí la dificultad de encontrar estudios válidos, utilizando tecnologías que se puedan extrapolar al presente y bajo las condiciones normales de utilización en el ámbito de la empresa.

Por otra parte hay que destacar también el acceso restringido de los artículos. Casi el 90% de ellos pertenecen a revistas, publicaciones o tesis y es necesario pagar licencias, realizar registros o pertenecer a la comunidad o país en el cual se ubican.

En referencia al proceso de evaluación, tal y como cita la *Guía Técnica sobre la exposición a agentes químicos en el trabajo*, cuando no es posible obtener conclusiones claras sobre la exposición de agentes químicos en el ambiente de trabajo y sea necesario efectuar mediciones, se deberá diseñar previamente un procedimiento de evaluación en el que se tengan en cuenta la

representatividad de las mediciones, justificando el número y tiempo de duración de las muestras, su ubicación, el número de trabajadores a muestrear y el número de jornadas durante las que se van a realizar las mediciones. Con esto después se podrá comparar la concentración del agente químico en el aire ponderada en el tiempo con el valor límite ambiental del agente en cuestión (INSHT, 2003). La norma *UNE-EN-689:1996. Atmósferas en el lugar de trabajo. Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de medición* específica que para diseñar la estrategia de muestreo cuando se considere obtener datos cuantitativos de las evaluaciones a través de las mediciones se deberá:

- Identificar los agentes químicos presentes en la exposición. El resultado derivado del estudio de las bases bibliográfica sobre los compuestos de degradación de los polímeros, se muestra de las tablas 4.3 a la 4.6. Actualmente la empresa solo ha evaluado la exposición a formaldehído y polvo total en el ambiente. Por este motivo, una vez identificados estos agentes, se debería ampliar la evaluación, y establecer los diferentes procedimientos de muestreo ambiental para cada agente, junto con la posibilidad de muestrear diferentes agentes en una misma muestra y sobre los tiempos y caudales de muestreo adecuados (INSHT, 2001).
- Para la selección de trabajadores, la norma UNE-EN-689:1996 establece elegir un mínimo de 1 trabajador por cada 10 que constituyan un GHE (grupo homogéneo de exposición, es decir, aquellos que realizan tareas idénticas o similares en el mismo lugar y pueden tener una exposición similar). Para esto, se debería de incluir en la evaluación a todos los trabajadores de los 3 departamentos que comparten espacio de trabajo en el área de inyección. Actualmente las mediciones se limitan a una medición anual durante el 2014 y 2 durante el 2013 en formaldehído sin tener en cuenta grupos de trabajadores ni tareas. En función de los procedimientos y ciclos de trabajo que realiza el personal de las distintas áreas que comparte espacio de trabajo, se podrían crear dos GHE: uno incluyendo a los operarios y preparadores de inyección, y un segundo

incluyendo tanto a los operarios de taller de moldes y mantenimiento. En función de la posible creación de los grupos, tal y como cita la norma UNE-EN-689:1996 se debería de escoger al menos 4 trabajadores de esta área considerando que la exposición es común a todos.

- El tiempo de muestreo ha de ser al menos el 25% del periodo de exposición siempre que no se produzcan fluctuaciones o picos en la concentración del contaminante y de esta manera se podría llegar a muestrear un periodo de tiempo que no cubra toda la exposición. Ya que es complicado definir una exposición homogénea debido al uso de diversas materias primas, condiciones operacionales o tareas, es posible también determinar cual serían las operaciones críticas de trabajo para realizar muestreos durante estos episodios. De este modo, si los valores límites no se superan durante estos periodos de trabajo, sería posible obtener conclusiones globales con ahorro de medios (UNE-EN 689), sin necesidad de muestrear toda la jornada laboral. Por ejemplo, un estudio concluyó que una vez muestreado todo el proceso de inyección de plásticos, durante las tareas de purga, las concentraciones de los diferentes compuestos de degradación son más elevadas (Forrest et al., 1994). El muestro actual realizado es de una única muestra 15 minutos para formaldehído (VLA-EC) y 50 minutos para polvo total en dos turnos de trabajo, teniendo en cuenta que el trabajador realiza tareas habituales. De acuerdo a lo citado en la normativa, se debería de adecuar el muestreo a mantener la representatividad de las tareas habituales con un número de muestras suficiente de al menos un 25 % o adaptar el muestreo a tareas críticas de mayor riesgo.
- En cuanto al número de jornadas a muestrear, actualmente, se muestrea una única jornada de trabajo, en periodos de mañana y tarde dentro de ese mismo día. Según la norma UNE-EN-689:1996, ésta recomienda muestrear diversas jornadas de trabajo representativas, ya que el muestreo de un único día o durante un periodo dado, puede ofrecer una visión insuficiente de la variabilidad de los factores de exposición. Aparte de los cambios en las condiciones de trabajo, hay que tener en cuenta

también las condiciones de exposición en las que se encuentra el contaminante, como las corrientes de aire, puntos de emisión o variaciones meteorológicas; y las características individuales de cada trabajador expuesto.

- Asimismo destacar, que el tratamiento de resultados de los diferentes compuestos de degradación no se pueden tratar por separado. En las tablas 4.2 a 4.6 son citadas distintas sustancias tóxicas, entre ellas cancerígenos y sensibilizantes, las cuales la mezcla de ellas en el ambiente de trabajo puede un efecto combinado y aditivo sobre la salud de los trabajadores. El muestreo actual de contaminantes es insuficiente para determinar si existe alguna interacción en el medio de trabajo y si estos agentes están causando efecto sobre el personal durante el desempeño de sus funciones.

El resultado de la investigación sobre los compuestos de degradación comparado con las mediciones que se están realizando actualmente pone de manifiesto la necesidad de analizar y establecer una nueva estrategia de evaluación de agentes químicos en función de las características actuales de funcionamiento del proceso de inyección de plásticos. Cabe añadir que, tal y como se comentó en la metodología, para simplificar el análisis de los compuestos de degradación, se optó por escoger los 4 polímeros de mas utilización en la empresa. Por tanto, sería necesario ampliar el estudio al resto de polímeros utilizados para así dar un análisis completo a la exposición.

El análisis se ha realizado siguiendo los criterios expuestos en la normativa UNE-EN-689:1996 destinada a la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos. Tal y como se muestra en el análisis toxicológico de los compuestos de degradación, se obtuvo que 10 de ellos tienen anotación específica de vía dérmica y sensibilizantes. Debido a esto, sería recomendable extender la evaluación de las otras posibles vías de entrada de agentes al organismo. Para ello, se podría aplicar como método complementario al control ambiental el monitoreo biológico de las sustancias que dispongan de VLB tal y como se indica en la tabla 4.8.

Ante el resultado de compuestos de degradación tóxicos que son o pueden ser cancerígenos, y el resto de casos mencionados anteriormente, tal y como específica en la normativa RD 374/2001 se debería de aplicar el principio de eliminación o reducción al mínimo del riesgo que entrañe un agente químico peligroso para la salud. Cuando la naturaleza de la actividad no permita la eliminación del riesgo por sustitución, el empresario garantizará la reducción al mínimo de dicho riesgo aplicando medidas de prevención y protección (INSHT, 2003). Si bien diversos estudios (Unwin et al., 2010, Unwin 2012, Meijster et al., 2003) muestran que las concentraciones no superan los valores límite de exposición y que por tanto, no podrían suponer un riesgo grave para la salud de los trabajadores, no se debería de obviar el hecho de su toxicidad, y por este motivo, requieren precaución. Es necesario utilizar procedimientos de trabajo, controles técnicos, equipos y materiales que permitan aislar al agente en la medida de lo posible. Además se evitará o reducirá al mínimo cualquier escape, difusión al ambiente o contacto directo con el trabajador que pueda suponer un peligro para la salud y seguridad de éste (INSHT, 2003). Es necesario, disponer de medidas de ventilación general o extracción localizada dentro de las zonas de trabajo y emisión de estos compuestos y verificar su eficacia periódicamente.

A elevadas temperatura fuera del rango de trabajo, se incrementa la liberación de sustancias peligrosos y la concentración de compuestos aumenta (Mairesse et al., 1999), por tanto, se debe mantener un control de las condiciones operacionales, de tal manera que no se excedan estas temperaturas. Igualmente es esencial mantener una correcta limpieza de los equipos de trabajo (HVBG, 2007) de tal manera que cuando se produzca un cambio en las materias primas no haya un sobrecalentamiento de los residuos y se generen compuestos de degradación a más altas concentraciones o interacción con el resto de productos. El conocimiento de los procesos y métodos de trabajo por parte de los trabajadores, supone que éstos dispongan de una formación e información sobre las materias primas, los posibles riesgos a los que están sujetos, actuaciones en caso de peligro, así como del correcto mantenimiento de los equipos de trabajo, orden y limpieza de los mismos y del entorno de trabajo.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez realizado el estudio y alcanzado el objetivo inicial, se concluye:

- Debido a que la evaluación de riesgos químicos en el área de inyección de la empresa es insuficiente y no es posible determinar el riesgo al que están expuestos los trabajadores, se debería desarrollar una estrategia de monitoreo ambiental, basándose en la *Guía Técnica sobre la exposición a agentes químicos en el trabajo* y/o UNE-EN-689:1996 contemplando la variabilidad de la concentración en el tiempo y entre trabajadores actualizada, con las condiciones, tareas y materias primas utilizadas actualmente en el proceso .
- Incluir en la estrategia de monitoreo mediciones periódicas para comprobar que los valores límite ambientales (VLA) no son superados bajo ninguna circunstancia. Las mediciones periódicas pueden ser consideradas como una medida específica de prevención y constituyen un tipo de control ambiental (INSHT, 2013). Se deben efectuar periódicamente, en función de los cambios del proceso y/o resultados obtenidos.
- Paralelamente sería oportuno establecer una vigilancia de la salud de los trabajadores, que tal y como cita el RD 374/2001 debe ser, periódica y específica en función de los riesgos inherentes al trabajo, teniendo en cuenta, la toxicidad de las sustancias descritas anteriormente y a los trabajadores especialmente sensibles.

7. BIBLIOGRAFÍA

BG ETEM (IFA) 2014. *Expositionsbeschreibung Verarbeitung thermoplastischer Kunststoffe in Spritzgießmaschinen*. Disponible en:

<<https://www.bgetem.de/arbeitssicherheit-gesundheitsschutz/fachinformationen/gefahrstoffe/messungen-1/expositionsbeschreibung-verarbeitung-thermoplastischer-kunststoffe-in-spritzgiessmaschinen>> (Acceso enero 2015)

Farhi R., Morel C., Chéron J., 2006 . *Matières plastiques & adjuvants hygiène et sécurité*. Disponible en: <<http://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20638>> (Acceso enero 2015)

Forrest MJ, Jolly AM, Holding SR, et al. 1995. Emissions from processing thermoplastics. *Annals of Occupational Hygiene*. Vol 39, No I, pp. 35-53, 1995

Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) 2007. *Sicheres Arbeiten in der Kunststoffindustrie*. BGR 223. Disponible en: <http://www.arbeitssicherheit.de/media/pdfs/bgr_223.pdf> (Acceso enero 2015)

Health and Safety Executive 2002. *Controlling fume during plastics processing*. *Plastics processing sheet*. Disponible en:

< <http://www.hse.gov.uk/pubns/pps13.pdf>.> (Acceso diciembre 2014)

INSHT (2013) Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo.

Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/g_AQ.pdf> (Acceso diciembre 2014)

ISO 294-1:1996. *Plastics - Injection moulding of test specimens of thermoplastic materials Part 1: General principles, and moulding of multipurpose and bar test specimens*.

Law P.K., Britton T.J., 2001. *Industria del Plástico*. Enciclopedia de la Salud y Seguridad en el Trabajo. Volumen III, parte XII . Disponible en : <<http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/77.pdf>> (Acceso diciembre 2014)

Mairesse, J.M. Petit, J. Chéron, M. Falcy, 1999. *Produits de dégradation thermique des matières plastiques*. Cahiers de notes documentaires - Hygiène et sécurité du travail, N° 174. Disponible en: <[http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%202097/\\$File/ND2097.pdf](http://www.inrs.fr/inrs-pub/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/HST_ND%202097/$File/ND2097.pdf)> (Acceso diciembre 2014)

Mattiusi R., Quinn A.E.. Textile and Apparel Industries - Synthetic Fibres *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety*. 3rd edition Part XIV. Disponible en: <<http://www.ilo.org/iloenc/part-xiv/textile-goods-industry/item/884-synthetic-fibres>> (Acceso enero 2015)

Meijster T, Burstyn I, Van Wedel De Joode B, 2004. *Evaluating Exposures to complex mixtures of chemicals during a new production process in the plastics industry*. Annals of Occupational Hygiene. Disponible en: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15292039>> (Acceso diciembre 2014)

Ministerio de Industria, Energía y Turismo 2014. *Presentaciones sectoriales: Sector automoción*. Disponible en: <<http://www.minetur.gob.es/es-ES/IndicadoresyEstadisticas/Presentaciones%20sectoriales/Automoci%C3%B3n.pdf>> (Acceso diciembre 2014)

PlasticsEurope 2014. *Plastics: the Facts 2014/2015: An analysis of European plastics production, demand and waste*. Disponible en: <<http://www.plasticseurope.es/Document/plastics-the-facts-20142015.aspx?FolID=2>> (Acceso Marzo 2015)

Szeteiová K. 2011. *Automotive materials plastics in automotive markets today*. Institute of Production Technologies, University of Technology Bratislav. Disponible en:

<http://www.mtf.stuba.sk/docs/internetovy_casopis/2010/3/szeteiova.pdf>

(Acceso diciembre 2014)

Unwin J., Keen C., Coldwell M. y Mcalinden J., 2010. *Airborne Emissions of Carcinogens and Respiratory Sensitizers during Thermal Processing of Plastics* Annals of Occupational Hygiene. Disponible en:

< <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23091110> > (Acceso diciembre 2014)

Unwin J, Keen C, Coldwell M. 2008. *Investigation of potential exposure to carcinogens and respiratory sensitisers during thermal Processing of plastics*. Research Report RR797. Sudbury, UK: HSE Books. Disponible en: < <http://www.hse.gov.uk/research/rrpdf/rr797.pdf>.> (Acceso diciembre 2014)

Willoughby B G.1999. *Fume and Temperature Control in Plastics Processing*. HSE Books. Disponible en:

<http://www.hse.gov.uk/research/crr_pdf/1999/crr99231.pdf> (Acceso diciembre 2014)

8. ANEXO I: GLOSARIO

Valores Límite Ambientales (VLA): Son valores de referencia para las concentraciones de los agentes químicos en el aire, y representan condiciones a las cuales se cree, basándose en los conocimientos actuales, que la mayoría de los trabajadores pueden estar expuestos día tras día, durante toda su vida laboral, sin sufrir efectos adversos para su salud. Se conocen dos tipos de VLA:

- **Valor Límite Ambiental para la Exposición Diaria:** valor límite de la concentración media, medida o calculada de forma ponderada con respecto al tiempo para la jornada laboral real y referida a una jornada estándar de 8 horas diarias.
- **Valor Límite Ambiental para Exposiciones de Corta Duración:** valor límite de la concentración media, medida o calculada para cualquier periodo de 15 minutos a lo largo de la jornada laboral, excepto para aquellos agentes químicos para los que se especifique un periodo de referencia inferior

Valor Límite Biológico: Son los valores de referencia para los Indicadores Biológicos asociados a la exposición global a los agentes químicos. Los VLB son aplicables para exposiciones profesionales de ocho horas diarias durante cinco días a la semana.

Notación utilizada para los VLB (tabla 4.6):

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

5: Significa antes del comienzo de la quinta jornada consecutiva de exposición.

F: Fondo. El indicador está generalmente presente en cantidades detectables en personas no expuestas laboralmente. Estos niveles de fondo están considerados en el valor VLB

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.

DNEL (Derived No Effect Level): Valores referencia para las concentraciones de sustancias químicas fabricadas o importadas en Europa en cantidades superiores a 10 toneladas anuales. Los DNEL se aplican a todas las vías de exposición (oral, cutánea o por inhalación) y a todas las poblaciones (trabajadores, consumidores, personas expuestas indirectamente, como los niños o las mujeres embarazadas). Existen las siguientes categorías:

- Aguda - inhalación, efectos sistémicos
- Aguda - inhalación, efectos locales
- Aguda - dérmica, efectos locales
- Larga duración - inhalación, efectos sistémicos
- Larga duración - inhalación, efectos locales
- Larga duración - dérmica, efectos sistémicos
- Larga duración - dérmica, efectos locales
- Larga duración - efectos sistémicos orales (no pertinentes para los trabajadores)

Los Efectos locales son aquellos que se manifiestan directamente en el punto de contacto o "absorción" (como irritación en áreas donde ha salpicado una sustancia). Por otro lado, efectos sistémicos son aquellos que ocurren en órganos internos (como daño al hígado como resultado de inhalar una sustancia).

Número CAS: número universalmente utilizado para proporcionar un identificador único, para cada una de las sustancias químicas.

International Agency for Research on Cancer (IARC)

Grupo 1: El agente (o mezcla) es carcinogénico para el hombre. Las condiciones de la exposición conllevan exposiciones carcinogénicas para el hombre

Grupo 2: El agente (o mezcla) es probablemente carcinogénico para el hombre.

Grupo 2B: El agente (o mezcla) es posiblemente carcinogénico para el hombre

Grupo 3: El agente (mezcla o condición de exposición) no puede ser clasificado respecto a su carcinogenicidad para el hombre

Grupo 4: El agente (o mezcla) es probablemente no carcinogénico para el hombre

9. ANEXO II: TABLAS Y FIGURAS

Tabla 2.1 Datos de la empresa

	Inyección	Taller de Moldes	Mantenimiento
Número de trabajadores	35	12	2
Turno	8 horas (2 turnos : mañana y tarde)	8 (1 turno : 8,00 - 17,00)	8 horas (2 turnos : mañana y tarde)
Sexo	masculino	masculino	masculino
Puestos de trabajo y descripción de tareas	<p><u>Operario de inyección:</u> Realizan tareas de vigilancia de la marcha de las inyectoras y equipos auxiliares que tienen asignadas, control visual de piezas, retiran cajas de material llenas y preparan y etiquetan palets y hacen el paro, reseteo y arranque de maquinaria.</p>	<p><u>Operario ajustador de moldes/ erosionador:</u> Realizan diferentes tareas de limpieza, preparación, ajuste, reparación y erosión de piezas y mantenimiento de los moldes.</p>	<p><u>Técnico de mantenimiento:</u> Personal que asiste a las incidencias de los equipos de la sección que no puedan ser abarcadas por el personal de inyección</p>
	<p><u>Preparador de inyección:</u> Se encargan a justar las condiciones de operación, intervienen en los paros no programados, realizan los reset de la maquinaria y realiza los cambios de formato. También son los encargados de la limpieza, cambio y traslado de los moldes y de ajuste de los parámetros operacionales.</p>	<p><u>Operario de almacén de moldes:</u> Personal que se encarga de la recogida, transporte, ubicación y movimientos de los moldes utilizados en las inyectoras hacia la zona de almacén común.</p>	

	<p><u>Técnico de Inyección:</u> Realizan tareas administrativas y de organización de la producción.</p>		
	<p><u>Encargado de inyección:</u> Realizan tareas administrativas, organización comunicación con ingeniería.</p>		

Tabla 3.1 Palabras claves utilizadas en la búsqueda bibliográfica

General	Polímeros
Thermal Processing Plastics	Polybutylene terephthalate toxic
Emission thermoplastic	Pbt degradation
Thermoplastic degradation	Pbt toxic
Thermoplastics toxic	Polyamide 6 degradation
Plastics automotive	Polyamide 6 toxic
Degradation plastics	Nylon 6 toxic
Plastics airborne	Polycarbonate toxic
Production of Thermoplastic Products	Polycarbonate degradation
Kunststoff	ABS toxic
Spritzgießmaschinen	ABS degradation
Polymeren	acrylonitrile butadiene styrene toxic

Dégradation plastiques	acrylonitrile butadiene styrene degradation
Matières plastiques	

Tabla 4.1 Referencias bibliográficas

Palabras clave	Nº ref. encontradas	Nº de ref. útiles
Thermal Processing Plastics	150	6
Emission thermoplastic	17	5
Thermoplastic degradation	20	5
Thermoplastics toxic	48	6
Plastics automotive	81	0
Degradation plastics	115	0
Plastics airborne	80	2
Production of Thermoplastic Products	25	0
Kunststoff	2	2
Spritzgießmaschinen	2	1
Polymeren	6	0
Dégradation plastiques	12	3
Matières plastiques	13	3
Polybutylene terephthalate toxic	1	0
PBTdegradation	7	1

PBT toxic	9	1
Polyamide 6/ Nylon 6degradation	14	3
Polyamide 6/ Nylon 6toxic	4	3
Polycarbonate toxic	51	3
Polycarbonate degradation	14	2
ABS toxic	33	5
ABS degradation	11	3
TOTAL	715	54

Tabla 4.2 Clasificación de polímeros

Siglas	Nombre del polímero
PBT	Polibutileno tereftalato
PC	Policarbonato
ABS	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
PA6	Poliamida 6
ASA	Acrilonitrilo estireno acrilato
PP	Polipropileno
PMMA	Polimetacrilato
POM	Poliacetal resina
PTFE	Politetrafluoroetileno

Tabla 4.3 Compuestos de degradación de polibutileno tereftalato

Compuesto de degradación	CAS	VLA	Otras anotaciones	DNEL
Acetaldehído	75-07-0	VLA-EC: 25 ppm; 46 mg/m ³		
Acroleína	107-02-8	VLA-EC: 0,1 ppm; 0,23 mg/m ³	vía dérmica	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 0,2 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 0,2 mg/m ³
Etileno	74-85-1	VLA-ED: 200 ppm		
Monóxido de carbono	630-08-0	VLA-ED: 25 ppm; 29 mg/m ³		LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 23 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 23 mg/m ³
Dióxido de carbono	124-38-9	VLA-ED: 5000 ppm; 9150 mg/m ³		

Fuente: Farhi et al. 2006, INSHT 2014, IFA 2014.

Tabla 4.4 Compuestos de degradación del Acrilonitrilo-butadieno-estireno

Compuesto de degradación	CAS	VLA	Otras anotaciones	DNEL
Estireno	100-42-5	VLA-ED: 20 ppm; 86 mg/m ³ VLA-EC: 40 ppm; 172 mg/m ³	alterador endocrino	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 85 mg/m ³
1,3-Butadieno	106-99-0	VLA-ED: 2 ppm; 4,5 mg/m ³		

Acroleína	107-02-8	VLA-EC: 0,1 ppm; 0,23 mg/m ³		LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 0,2 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 0,2 mg/m ³
Acrilonitrilo (cianuro de vinilo)	107-13-1	VLA-ED: 2 ppm; 4,4 mg/m ³	vía dérmica sensibilizante	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 1,8 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 2,7 mg/m ³
4-vinilo-1-ciclohexano	100-40-3	VLA-ED: 2 ppm; 4,4 mg/m ³		
Naftaleno	91-20-3	VLA-ED: 10 ppm; 53 mg/m ³ VLA-EC: 15 ppm, 80 mg/m ³	vía dérmica	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 25 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 25 mg/m ³

Fuente: Farhi R et al 2006,, Forrest MJ et al, 1995, Unwin, J. et al. 2008, INSHT 2014, IFA 2014.

Tabla 4.5 Compuestos de degradación de la poliamida 6.

Compuesto de degradación	CAS	VLA	Otras anotaciones	DNEL
Hidrocarburos alifáticos.				
Acetaldehído	75-07-0	VLA-EC: 25 ppm; 46 mg/m ³		
Acroleína	107-02-8	VLA-EC: 0,1 ppm; 0,23 mg/m ³	vía dérmica	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 0,2 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 0,2 mg/m ³

Crotonaldehído	123-73-9	VLA-EC: 0,3 ppm; 0,87 mg/m ³	vía dérmica	DNEL: 0,86 mg/m ³
Acrilonitrilo (cianuro de vinilo)	107-13-1	VLA-ED: 2 ppm; 4,4 mg/m ³	vía dérmica sensibilizante	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 1,8 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 2,7 mg/m ³
Acetonitrilo	75-05-8	VLA-ED: 40 ppm; 68 mg/m ³	vía dérmica	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 68 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 68 mg/m ³
Acetona	67-64-1	VLA-ED: 500 ppm; 1210 mg/m ³	vía dérmica	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 1210 mg/m ³
Caprolactama	105-60-2	VLA-ED: (vapor y polvo) 10 mg/m ³ VLA-EC: (vapor y polvo) 40 mg/m ³		LD - inhalación, e. locales DNEL: 5 mg/m ³

Fuente :Levchik SV et al 1991, Farhi R et al 2006,, Forrest MJ et al, 1995, Unwin, J. et al. 2008, INSHT 2014, IFA 2014.

Tabla 4.6 Compuestos de degradación del policarbonato.

Compuesto de degradación	CAS	VLA	Otras anotaciones	DNEL
Hidrocarburos alifáticos				

Benceno	71-43-2	VLA-ED: 1 ppm; 3,25 mg/m ³	vía dérmica	
Tolueno	108-88-3	VLA-ED: 50 ppm; 192 mg/m ³ VLA- EC: 100 ppm; 384 mg/m ³	vía dérmica	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 192 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 192 mg/m ³
Aldehídos				
Bisfenol A	80-05-7	VLA-ED: 10 mg/m ³	alterador endocrino	LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 10 mg/m ³ LD - inhalación, e. locales DNEL: 10 mg/m ³
Fenol	108-95-2	VLA-ED: 2 ppm; 8 mg/m ³ VLA-EC: 4 ppm; 16 mg/m ³		LD - inhalación, e.sistémicos DNEL: 8 mg/m ³

Fuente: Farhi R et al 2006, INSHT 2014, IFA 2014.

Tabla 4.7 Efectos tóxicos compuestos de degradación

Compuesto	IARC	Efectos sobre la salud
Acetaldehído	Grupo 2B	Irritante en ojos, piel y tracto respiratorio. Puede afectar al sistema nervioso central. El consumo de alcohol puede aumentar la categoría de 2 a 1 carcinógeno.
Acroleína	Grupo 3	Irritante en ojos, piel y tracto respiratorio. Puede causar edema pulmonar.
Etileno	Grupo 3	Irritante del tracto respiratorio.
Monóxido de Carbono		Irritante del tracto respiratorio. Puede afectar al sistema cardiovascular y al sistema nervioso central. Puede ser tóxico para la reproducción
Dióxido de Carbono		Irritante de piel y tracto respiratorio.
Estireno	Grupo 2B	Irritante ojos, piel y tracto respiratorio. Puede

		afectar al sistema nervioso central.
Crotonaldehído	Grupo 3	Irritante ojos, piel y tracto respiratorio. Puede causar edema pulmonar.
Acrilonitrilo (cianuro de vinilo)	Grupo 2B	Irritante en ojos, piel y tracto respiratorio. Toxicidad aguda. Sensibilizante.
Acetonitrilo		Irritante de ojos.
Acetona		Irritante en ojos y el tracto respiratorio,
Benceno	Grupo 1	Irritante en ojos y tracto respiratorio. Puede afectar al sistema nervioso central y a la sangre.
Tolueno	Grupo 3B	Irritante ojos, piel y tracto respiratorio. Puede afectar al sistema nervioso central y a la sangre.
1,3-Butadieno	Grupo 1	Irritante ojos y tracto respiratorio. Puede afectar al sistema nervioso central
4-vinilo-1-ciclohexano	Grupo 2B	Irritante ojos y piel. Afecta a la sangre. Depresor del sistema nervioso central.
Naftaleno	Grupo 2B	Irritante de piel. Puede afectar al sistema nervioso central y a la sangre.
Caprolactama	Grupo 4	Irritante ojos, piel y tracto respiratorio. Puede afectar al sistema nervioso central.
Fenol	Grupo 3	Irritante ojos, piel y tracto respiratorio. Puede afectar al sistema nervioso central. Puede causar edema pulmonar.
Bisfenol A		Irritante ojos, piel y tracto respiratorio. Puede afectar a la reproducción

Fuente: IARC 2014, INSHT 2014, TOXNET 2014.

Tabla 4.8 Compuestos con indicador biológico (VLB) (ver Anexo I)

Compuesto	Indicador	Valor límite	Momento de muestreo	Otros
Monóxido de Carbono	Carboxihemoglobina en sangre	3,5% de carboxihemoglobina en hemoglobina total	Final de jornada laboral (2)	F I
	CO en el Aire alveolar (fracción final del aire exhalado)	20 ppm		

Estireno	Ácido mandélico más ácido fenilgloxílico en orina	400 mg/g creatinina	Final de jornada laboral (2)	I
	Estireno en sangre venosa	0,2 mg/l		S
Acetona	Acetona en orina	50 mg/l	Final de jornada laboral (2)	I
Benceno	Ácido S-Fenilmercaptúrico en orina	0,045 mg/g creatinina	Final de jornada laboral (2)	
	Acido t,t-Mucónico en orina	2 mg/l		
	Benceno total en sangre	5 mg/l		
tolueno	o-Cresol en orina	0,5 mg/l	Final de jornada laboral (2)	F
	Ácido hipúrico en orina	1,6 g/g creatinina	Final de jornada laboral (2)	F I
	Tolueno en sangre	0,05 mg/l	Principio de la última jornada de la semana laboral (5)	
1,3-Butadieno	Acido 1,2_Dihidroxibutilmercaptúrico en orina	2,5 mg/l	Final de jornada laboral (2)	S F
	Mezcla de 1-N y 2-N-(hidroxibutenil) valina aductos de hemoglobina (Hb) en sangre	2,5 pmol/g Hb	No critico	S
Fenol	Fenol en orina	120 mg/g creatinina	Final de jornada laboral (2)	F I con hidrólisis 9

Tabla 4.9 Resultados mediciones 2013

Puesto de trabajo	Agente	Duración del muestreo (min)	Resultado (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Resultado de la exposición
Operario inyección (turno mañana)	Polvo Total	50	< L.D.*	10	EXPOSICIÓN ACEPTABLE
Operario inyección (turno mañana)	Polvo Total	50	< L.D.*	10	EXPOSICIÓN ACEPTABLE
Operario inyección (turno tarde)	Polvo Total	50	< L.D.*	10	EXPOSICIÓN ACEPTABLE
Operario inyección (turno tarde)	Polvo Total	50	< L.D.*	10	EXPOSICIÓN ACEPTABLE

< L.D.*: inferior al límite de detección

Los operarios realizaban las tareas habituales de su puesto de trabajo descritas en la tabla 2.1.

Tabla 4.10 Resultados mediciones 2013

Puesto de trabajo	Agente	Duración del muestreo (min)	Resultado (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Resultado de la exposición
Preparador de inyección (turno mañana)	Formaldehído	15	0,09	0,37	EXPOSICIÓN ACEPTABLE
Operario mantenimiento (turno mañana)	Formaldehído	15	0,03	0,37	EXPOSICIÓN ACEPTABLE

El preparador realizaba tareas de arranque y ajuste de las condiciones de operación de la inyectora. El operario realizaba tareas habituales de su puesto de trabajo descritas anteriormente.

Tabla 4.11 Resultados mediciones 2014

Puesto de trabajo	Agente	Duración del muestreo (min)	Resultado (mg/m ³)	VLA-ED (mg/m ³)	Resultado de la exposición
Preparador inyectora (turno mañana)	Formaldehido	15	0,03	0,37	EXPOSICIÓN ACEPTABLE

El preparador realizaba operaciones de purga de arranque tras el cambio de molde.

10. ANEXO III: ESQUEMA DEL ÁREA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

