

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

Máster Universitario en Prevención de Riesgos Laborales

**RIESGOS HIGIÉNICOS EN LABORATORIOS  
DE DOCENCIA QUÍMICA**

Raquel Valencia Drona

**DIRECTOR**

Víctor Martínez Merino

Pamplona

2 de septiembre de 2019

## RESUMEN:

Actualmente, existen muchos laboratorios de investigación para mejorar en avances científicos, como pueden ser medicamentos o técnicas de laboratorio. Además, existen muchos tipos de laboratorios, pero en este caso nos centraremos en los laboratorios de química. Estos laboratorios específicos presentan muchos riesgos para las personas que trabajan en ellos, y, por lo tanto, es importante analizar todas las operaciones y aparatos los cuales son usados con normalidad. No solo es importante conocer las operaciones y aparatos, sino también es esencial evaluar qué tipo de productos químicos son utilizados para poder determinar mejor los peligros existentes. Debido a esto, es muy importante tomar diferentes medidas preventivas frente a los riesgos detectados en estos lugares.

Palabras clave: laboratorios, productos químicos, riesgos, operaciones y medidas preventivas.

## ABSTRACT:

Actually, there are a lot of research laboratories in order to improve in science advances, such as medicines, laboratory techniques etc. Besides, there are different types of laboratories, but we are going to focus on chemical laboratories. These specific laboratories have many risks for the people that work there. That's why it is important to analyze all the activities and the machines or instruments that are usually used in places like this. Not only is important to know the activities and the machines, but also it is essential to evaluate which type of chemical products are used in order to determine more specifically all the dangers that are existing. As a result, it is important to take different preventive measures to all the risks that we have determined in these places.

Key words: laboratories, chemical products, risks, activities and preventive measures.

# ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1 Instrumentos y aparatos de laboratorio</b> .....	<b>6</b>
1.1.1 Sistema de ventilación general.....	6
1.1.2 Frigoríficos.....	7
1.1.3 Aparatos con llama .....	7
1.1.4 Baños calientes .....	8
1.1.5 Baño refrigerante.....	8
1.1.6 Refrigerantes.....	8
1.1.7 Estufas.....	9
1.1.8 Centrífugas.....	9
1.1.9 Botellas e instalaciones de gases.....	9
1.1.10 Material de vidrio .....	11
1.1.11 HPLC (High Performance Liquid Chromatography).....	11
1.1.12 Autoclave.....	13
1.1.13 Cromatógrafo de gases.....	13
1.1.14 Espectrofotómetro .....	14
<b>1.2 Actividades y procesos realizados en el laboratorio químico</b> .....	<b>15</b>
1.2.1 Operaciones básicas de laboratorio .....	15
1.2.2 Almacenamiento de productos químicos .....	19
1.2.3 Gestión de residuos en laboratorios de docencia química.....	20
<b>2.OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	<b>23</b>
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>29</b>
<b>5. DISCUSIÓN Y MEDIDAS PREVENTIVAS</b> .....	<b>32</b>
5.1 Medidas preventivas frente a riesgos expuestos en el uso de aparatos de laboratorio .	39
5.2 Medidas preventivas frente a actividades realizadas en el laboratorio.....	42
5.2.1 Medidas preventivas en operaciones básicas de laboratorio.....	42
5.2.2 Medidas preventivas en el almacenamiento de productos químicos.....	45
5.2.3 Medidas preventivas en la gestión de residuos .....	47
5.3 Equipos de protección individual (EPIs) .....	48
5.3.1 Protectores de ojos y cara:.....	49
5.3.2 Protección de la piel:.....	49
5.3.3 Protección de las vías respiratorias: .....	51
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	<b>53</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>53</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Centrífuga <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/centrifuga-de-laboratorio.html>.

Figura 2: Botella e instalaciones de gases <http://www.medicaexpo.es/prod/asecos/product-108300-714586.html>.

Figura 3: Material de vidrio de laboratorio <https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-a-considerar-para-manejar-el-material-de-vidrio-en-el-laboratorio-4157517.html>.

Figura 4: Cromatógrafo de gases alta resolución <https://www.indiamart.com/proddetail/hplc-instrument-10784692297.html>.

Figura 5: Espectrofotómetro para la detección de compuestos <https://www.quirumed.com/es/espectrofotometro-uv-visible-modelo-4255.html>.

Figura 6: Señal de riesgo de exposición a ruido <http://www.expower.es/incendio.php?codigo=implaser-senalespeligro-adhad13>.

Figura 7: Tablas de selección de valores para calcular el índice IPMAQ. NTP 987 del INSHT.

Figura 8: Tablas de cálculo del índice de riesgo de cada sustancia (Is). NTP 988 del INSHT.

Figura 9: Bomba Scott-Elf utilizada para realizar la medición de gases <https://www.ebay.com/itm/Zefon-805560-Escort-ELF-Single-Pump-Kit-120V-New-/140916443678? ul=GT>.

Figura 10: Tubo de carbón activo utilizado como soporte de captación en la medición <https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-615400058-tubos-de-carbon-activo-para-muestras-sk-cod-226-01- JM?quantity=1>.

Figura 11: Peligrosidad según el índice IPMAQ. NTP 988 del INSHT.

Figura 12: Comportamientos erróneos al trabajar en un laboratorio químico <https://slideplayer.es/slide/2981657/>.

Figura 13: Pictogramas de peligro de productos químicos <http://trampantojocomunicacion.gomezdemiguel.com/pictogramas-de-peligro-ra4000008>.

Figura 14: Ficha de datos de seguridad de productos químicos <https://es.slideshare.net/xiuhts/benzoina>.

Figura 15: Volúmenes máximos para el almacenamiento de productos químicos. NTP 725 del INSHT.

Figura 16: Pantalla de protección de agentes químicos para la cara y los ojos <http://www.medicaexpo.es/prod/conscience-llc/product-113238-787427.html>.

Figura 17: Gafas de seguridad universales utilizadas normalmente en el laboratorio <https://www.adilropadetrabajo.com/blog/2017/11/gafas-proteccion-laboral-necesitas-saber-sobre-ellas/>.

Figura 18: Guantes de nitrilo utilizados en el laboratorio <https://www.adilropadetrabajo.com/gafas-ligeras-faru-c81>.

Figura 19: Máscara integral filtrante utilizada en laboratorios <https://www.directindustry.es/prod/dpi-srl/product-166426-2008721.html>.

# 1. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios son instalaciones sujetas a una gran variedad de normativa:

- El real decreto 374/2001 sobre la protección de los trabajadores contra riesgos químicos.
- El Reglamento (CE) n.º 1272/2008 o reglamento CLP sobre el sistema armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos.
- El Reglamento (CE) n.º 1907/2006 sobre el registro, evaluación y restricción de sustancias y mezclas químicas.
- El real decreto 656/2017 sobre el almacenamiento de productos químicos.
- Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados.

El presente trabajo de fin de máster se va a desarrollar con el fin de exponer la prevención de riesgos desde una revisión bibliográfica y una actividad práctica. A día de hoy, las personas no están concienciadas con los riesgos existentes en el laboratorio. Por lo tanto, en este trabajo quiero mostrar toda la problemática en este tipo de instalaciones, desde los riesgos higiénicos asociados a la utilización de aparatos y a la manipulación de productos químicos, hasta los riesgos asociados a las operaciones realizadas. Además, este desconocimiento se puede observar en el día a día, ya que normalmente, el personal de laboratorio no se coloca los equipos de protección individual específicos para realizar operaciones de riesgo.

Los laboratorios son instalaciones cuyo objetivo es generar una base experimental para todos los conceptos teóricos existentes. Estos lugares de trabajo se encuentran dotados de los medios necesarios para realizar investigaciones, experimentos, prácticas y trabajos de carácter científico o técnico. De hecho, consta de instrumentos de medida o equipos necesarios para realizar todas estas actividades mencionadas. La ciencia es cada vez más importante, y, por lo tanto, es muy enriquecedor que los estudiantes puedan tener la oportunidad de comprobar todas estas teorías de una forma más práctica. La comprobación de todas estas teorías se realiza por medio de experimentos a través de la aplicación de un método científico concreto(1).

Dependiendo de las actividades realizadas en estas instalaciones, tenemos diferentes tipos de laboratorios(2):

- Laboratorio de metrología: aplica la ciencia basada en el estudio de las unidades y de las medidas de las magnitudes.
- Laboratorio clínico: se realizan análisis clínicos que participan y movilizan el estudio, prevención, diagnóstico y tratamiento de problemas de salud.
- Laboratorio científico: aborda todas las ramas de las ciencias naturales, las cuales se desarrollan y progresan gracias a los resultados obtenidos en estas instalaciones.
- Laboratorio de biología: se trabaja con material biológico que va desde un nivel celular a un nivel de órganos y sistemas.

- Laboratorio químico: utiliza y estudia mezclas de sustancias o elementos, realizando ensayos químicos, los cuales ayudan a comprobar todas las teorías que se han comprobado a lo largo del desarrollo de la química.
- Laboratorio de física: se hacen experimentos con electricidad, electrónica, óptica y afines.
- Laboratorio de suelos: sirven para llevar a cabo estudios de las propiedades de los suelos desde el punto de vista de utilización en agricultura y ganadería.
- Laboratorio de calidad de agua: se analizan los contaminantes perjudiciales para la salud en este tipo de laboratorios.

El laboratorio de docencia química es aquel que representa a la química y donde se estudian sustancias o mezclas de sustancias. Es un lugar donde se comprueba la validez de los principios químicos a través de la aplicación del método científico, además de por medio de experimentos planteados para grupos de estudiantes que participan activamente (3). Estas condiciones convierten a estas instalaciones en una zona peligrosa donde la evaluación de los riesgos presenta cierta complejidad. En dicha evaluación hay que tener en cuenta los elementos mencionados en el RD 374/2001 de protección frente agentes químicos, como son la información de la ficha de datos de seguridad de cada sustancia, el etiquetado, los valores límite ambiental (VLA), las cantidades utilizadas, la duración de la exposición etc.(4)

## **1.1 Instrumentos y aparatos de laboratorio**

Por otro lado, el laboratorio que he visitado consta de una gran variedad de herramientas o aparatos para la aplicación del método científico. Entre tales aparatos tenemos columnas cromatográficas, autoclaves, HPLCs, centrifugas, frigoríficos, pipetas, botellas de gases(5)...El uso de toda maquinaria expone al personal de laboratorio a varios riesgos, como son salpicaduras de productos químicos, liberación de vapores tóxicos, derrames accidentales, quemaduras, proyecciones, explosiones etc.

### **1.1.1 Sistema de ventilación general**

Este tipo de instalación, al ser un centro principal de manipulación de agentes químicos, necesita un sistema de ventilación general. De tal forma, que las personas que realicen operaciones en su interior no se vean expuestas a atmósferas tóxicas y malos olores. Dicho sistema de ventilación se puede conseguir de diferentes formas (6). En nuestro caso, el laboratorio explorado presenta todos los tipos de ventilación mencionados y extracción localizada a través de cabinas de extracción.

- Ventilación por dilución: se suele implantar en los casos en los que se manipulen sustancias de muy baja toxicidad, no existan compuestos inflamables o explosivos, no haya contaminación por polvo, los trabajadores suelen ubicarse lejos del foco de emisión etc.

- Ventilación por desplazamiento: se suele utilizar para acondicionar el ambiente del laboratorio, o bien para controlar los contaminantes ambientales. Este tipo de ventilación funciona de tal forma que el aire entra en el laboratorio, y, tras esto, desplaza hacia la salida el aire que permanecía dentro previamente.
- Renovación de aire del laboratorio: puede ser natural o artificial. La natural presenta varias desventajas en comparación con la artificial, ya que solo es viable en ciertas épocas del año. Por otro lado, la renovación forzada es un sistema de suministro-extracción de aire que trabaja junto al sistema de extracción para la eliminación de contaminantes.
- Extracción localizada: es un sistema que sirve para atrapar los contaminantes en la zona más próxima posible al foco contaminante. Consta de cuatro elementos esenciales: campana, conducto, depurador y ventilador.

Estos aparatos exponen al personal a ciertos riesgos específicos si no funcionan correctamente tales como(5):

- Contaminación ambiental residual y olores.
- Grandes concentraciones ambientales por derrames, vertidos y fugas de gases.
- Productos peligrosos en la atmósfera durante su manipulación.

### **1.1.2 Frigoríficos**

El frigorífico de un laboratorio sirve para mantener estables ciertas sustancias y fluidos. De hecho, mientras menor sea la temperatura, la actividad química de los compuestos almacenados es menor. Existen varios tipos de frigoríficos(7):

- Frigoríficos de conservación.
- Frigoríficos de baja temperatura.
- Frigoríficos de ultrabaja temperatura.

En el laboratorio visitado existen todos los diferentes frigoríficos mencionados. Estos aparatos exponen al personal a determinados riesgos, tales como(5):

- Riesgo de incendio y explosión al guardar en su interior sustancias inflamables que liberan vapores.

### **1.1.3 Aparatos con llama**

Los aparatos con llama son utilizados para calentar, evaporar o esterilizar muestras y reactivos químicos. Los más frecuentes son los mecheros. En este caso, en el laboratorio visitado no existe ningún tipo de aparato con llama, pero sí que existen técnicas que presentan llamas en su interior para desarrollar sus procesos(8):

- Espectrofotómetro de absorción.
- Técnicas de doblar vidrio.

Los peligros asociados a este tipo de instrumentos son los siguientes(5):

- Riesgo de incendio y explosión por la presencia de gases comburentes o compuestos inflamables en el ambiente próximo en el que se encuentran.

#### **1.1.4 Baños calientes**

Es un método de laboratorio que sirve para proporcionar una temperatura homogénea a un compuesto líquido o sólido. Para realizar esta operación es necesario introducir el elemento que interesa calentar dentro de un recipiente con agua, la cual se va calentando poco a poco. Esta técnica es un método indirecto de calentar (9).

Los riesgos asociados a estos instrumentos son(5):

- Riesgo de emisión de vapores, vertidos, humos, calor y humedad ambiental.

#### **1.1.5 Baño refrigerante**

El baño refrigerante sirve para reacciones químicas del laboratorio que necesitan temperaturas bajas para su generación. También es utilizado cuando se quiere recuperar líquidos muy volátiles que provienen de una destilación. Existen tres tipos de baños refrigerantes(10):

- Baños de hielo: basados en una mezcla de hielo y sal inorgánica que permite alcanzar temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$ .
- Baños de hielo seco: basados en una mezcla de hielo seco junto a un solvente orgánico.
- Baños de nitrógeno líquido: el nitrógeno líquido puede ayudar a proporcionar al baño refrigerante temperaturas de hasta  $-196^{\circ}\text{C}$ .

Por otro lado, existen riesgos asociados a los baños refrigerantes, tales como (5):

- Riesgo de quemaduras por frío, desprendimiento de vapores, incendio, explosión o emisión de sustancias tóxicas al ambiente.

#### **1.1.6 Refrigerantes**

Los tubos refrigerantes son equipos de trabajo del laboratorio compuestos de vidrio, los cuales son utilizados para condensar el vapor generado en la destilación. Para llevar a cabo su función, este equipo necesita líquido refrigerante además de la disposición de dos tubos cilíndricos concéntricos. Por el tubo interior circula el vapor que va a ser condensado, y, por el tubo exterior circula el líquido refrigerante, el cual se encuentra constantemente viajando por el tubo para mantener la temperatura que logre condensar el vapor(11).

Los peligros existentes en el uso de refrigerantes son los siguientes(5):

- Riesgo de rotura interna, la cual genera la entrada de agua en el medio de reacción, y, por lo tanto, se puede generar un incendio, una explosión, una emisión de productos tóxicos o una fuga de vapores.



### 1.1.7 Estufas

La estufa de laboratorio es una herramienta que sirve para esterilizar y secar los diferentes envases de vidrio o metal que son usualmente manejados para las actividades del laboratorio. Estos instrumentos normalmente están fabricados con acero inoxidable, el cual proporciona una mayor durabilidad del producto y mantiene una temperatura uniforme al utilizarlo. Existen diferentes tipos de estufas, como por ejemplo, de convección forzada y de convección natural(12).

En general, la mayoría de los modelos alcanzan temperaturas entre los 200 °C y los 300°C. En comparación con otros instrumentos, las estufas solo calientan pudiendo llegar a los 300 °C, mientras que las incubadoras calientan llegando hasta 35-45 °C de temperatura. Por ello, las incubadoras solo son utilizados en laboratorios de tipo biológico.

Los riesgos asociados a la utilización de estufas son los siguientes(5):

- Riesgos de explosión, incendio e intoxicación por la posibilidad de producción de vapores inflamables en la estufa.

### 1.1.8 Centrífugas

La centrífuga es un equipo de rotación, el cual sirve para separar los elementos que forman un compuesto. Existen diversos tipos de centrífugas, como las de baja velocidad, ultracentrífugas, macro centrífugas...Dependiendo del tipo que utilicemos, cada una presenta un funcionamiento y unas características específicas (13).

Estos instrumentos presentan otra serie de riesgos, tales como(5):

- Explosión debido a la atmosfera inflamable existente.
- Formación de bioaerosoles.



**Figura 1. Centrífugas.**

<https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/centrifuga-de-laboratorio.html>

### 1.1.9 Botellas e instalaciones de gases

En el laboratorio se suelen utilizar gases a presión suministrados a través de una instalación fija o directamente de la botella (bombona)(14). Se denomina botella al recipiente de fácil manejo y que presenta un volumen igual o inferior a 150 litros. Por otro lado, el botellón es aquel recipiente que tiene un volumen superior a 100 litros, pero no sobrepasa los 1000 litros. Estos recipientes se pueden encontrar compuestos de diferentes materiales como acero con o sin soldadura, botellas de acetileno, botellones criogénicos...(15)



**Figura 2. Botellas e instalaciones de gases**  
<http://www.medicaexpo.es/prod/asecos/product-108300-714586.html>

Los gases contenidos en el interior de dichas botellas pueden ser de diversos tipos (15):

- Gas comprimido: gas o mezcla de gases cuya temperatura crítica es menor o igual a 10°C.
- Gas licuado: gas o mezcla de gases cuya temperatura crítica es mayor o igual a 10°C.
- Gas inflamable: gas o mezcla de gases que presentan un campo de inflamabilidad mayor al 12%.
- Gas tóxico: gas o mezcla de gases que presentan un límite de máxima concentración tolerable durante 8 horas/día y 40 horas/semana de 50 ppm.
- Gas corrosivo: gas o mezcla de gases que producen una corrosión de más de 6mm por año en acero.
- Gas oxidante: gas o mezcla de gases que son capaces de soportar la combustión.
- Gas criogénico: gas o mezcla de gases que presentan una temperatura de ebullición menor a - 40°C.

Los riesgos asociados con las botellas de gases son los siguientes(5):

- Riesgo de intoxicación en caso de fuga de un gas tóxico irritante o corrosivo.
- Riesgo de incendio.
- Fuga de gas explosivo o inerte.

### 1.1.10 Material de vidrio

En los laboratorios de docencia existe una gran variedad de material de vidrio tales como, pipetas, vasos de precipitado, Erlenmeyer, embudos de decantación, matraces, tubos refrigerantes, probetas, decantadores...

La pipeta es un instrumento que sirve para obtener volúmenes exactos y precisos de diferentes compuestos presentes en el laboratorio. Estos instrumentos están hechos a partir de pyrex y presentan dos partes, un tubo transparente alargado y un tramo final que acaba en punta. Para que las personas sepan qué volumen están obteniendo del líquido en cuestión, este aparato debe estar dotado de un sistema de graduación. Por otro lado, existen diferentes tipos de pipetas(16):

- Pipeta de Mohr o graduada.
- Pipeta de vertido.
- Pipeta aforada.
- Pipeta Pasteur.
- Pipeta Shali.
- Pipeta de Thoma.
- Micropipeta.

Por otro lado, la utilización de estos instrumentos conlleva la exposición a los siguientes riesgos (5):

- Riesgo de entrar en contacto o ingerir un líquido tóxico o corrosivo.
- Riesgo de derrames.



**Figura 3: Material de vidrio de laboratorio**

<https://www.quiminet.com/articulos/caracteristicas-a-considerar-para-manejar-el-material-de-vidrio-en-el-laboratorio-4157517.htm>

### 1.1.11 HPLC (High Performance Liquid Chromatography)

La cromatografía líquida de alta resolución es la técnica analítica de separación más utilizada en los laboratorios. Fue desarrollada por un italiano nacido en Rusia en el año 1906. Esta metodología normalmente es utilizada para determinar la presencia de ciertos componentes de un material, o bien, para medir la actividad catalítica de un material. Además, este sistema consta de reservorios para la fase móvil, sistema de

bombeo, inyector, columna, detectores, sistema de tratamiento de resultados y botella de residuos(17).

En este tipo de cromatografía participan varias fuerzas, las cuales compiten de forma selectiva por un componente: para fijarlo a la columna (fase estacionaria) o para arrastrarlo y disolverlo en el eluyente de la columna (fase móvil). El tipo de fuerzas entre la fase estacionaria y los solutos que intervengan en este proceso determinan los distintos tipos de cromatografías HPLC (17):

- HPLC de adsorción: es la cromatografía más antigua y está basada en el uso de fases estacionarias polares (sílice) y fases móviles apolares (ciclohexano). Normalmente, sirve para la separación de compuestos apolares que presenten alguna insaturación o grupo funcional.
- HPLC de partición: es la cromatografía más utilizada actualmente. En este caso la fase estacionaria se une a partículas inertes de tal forma que queden fijas a la columna.
- HPLC de intercambio iónico: esta cromatografía permite separar diferentes componentes de naturaleza iónica. La fase estacionaria está constituida por un gel con grupos cargados, los cuales son neutralizados por los iones presentes de la fase móvil. Por lo tanto, si la muestra presenta grupos de carga opuesta a la fase estacionaria, se quedará retenido en la columna.
- HPLC de exclusión: esta cromatografía sirve para separar los analitos según su tamaño molecular. En esta técnica se utilizan dos fases estacionarias, una de materiales poliméricos y otra de materiales basados en sílice. Conforme menor sea el tamaño molecular, existirá una mayor penetración y, por lo tanto, una mayor retención en la columna. Esta metodología es conocida de forma abreviada como SEC (size exclusion chromatography) cuando la técnica es aplicada con proteínas. También, existe una variante denominada GPC para proteínas (gel permeation chromatography).

Los HPLC son máquinas que presentan los siguientes riesgos(5):

- Riesgo de vertido.
- Contacto con sustancias químicas durante la preparación del eluyente.



**Figura 4. Cromatógrafo de alta resolución (HPLC)**

<https://www.indiamart.com/proddetail/hplc-instrument-10784692297.html>

### **1.1.12 Autoclave**

El autoclave es un recipiente constituido por material metálico el cual presenta unas paredes gruesas y un cierre hermético para funcionar con vapor de agua a altas temperaturas y altas presiones. Más concretamente, este utensilio es utilizado para esterilizar el material presente en el laboratorio. Normalmente, estos instrumentos disponen de una puerta con dispositivo de seguridad, otros dispositivos para poder realizar la medición de la presión y temperatura, y, elementos calefactores para mantener el aparato caliente(18). Estos instrumentos funcionan permitiendo la entrada o generando vapor de agua, pero restringiendo la salida. De esta forma obtienen una presión de 103 kPa, lo cual hace que se alcancen temperaturas de 121 grados. Los autoclaves más modernos realizan procesos a mayores temperaturas y presiones, con ciclos estándares de 134 °C a 200 kPa durante cinco minutos.

Los riesgos asociados a la utilización del autoclave son los siguientes(5):

- Explosión del aparato con proyecciones violentas.

### **1.1.13 Cromatógrafo de gases**

Entre todos los diferentes tipos de cromatografía, la cromatografía de gases es una de las más utilizadas. Esta técnica es utilizada para la separación de gases en el laboratorio y está limitada para compuestos que presenten un peso molecular menor de 1000 y una temperatura máxima de trabajo de unos 400 °C. Dentro de estas limitaciones, el único problema que podría causarse estaría relacionado con la estabilidad térmica de la muestra(19).

El equipo de la cromatografía consta de:

- Fuente de gas.
- Sistema de inyección.
- Horno y columna cromatográfica.
- Sistema de detección.
- Sistema de registro.

La ejecución de la técnica se basa en la introducción de la muestra en el inyector. Una vez se haya introducido la muestra a separar en la corriente de gas de alta temperatura; esta corriente de gas, atraviesa la columna cromatográfica, la cual separará los compuestos a través de un proceso de partición o de adsorción. El proceso de partición corresponde a la técnica gas-líquido, y, por otro lado, el proceso de adsorción corresponde a la técnica gas-sólido. La mayoría de las veces se utilizan mezclas de ambas técnicas. Cuando se vayan separando poco a poco, los compuestos emergen de la columna y se trasladan a través del sistema de detección adecuado, o bien, son dirigidos al dispositivo de recogida de muestras(19).

El cromatógrafo es una máquina que expone al personal de laboratorio a los siguientes riesgos(5):

- Fugas de gases inflamables y tóxicos.

- Contaminación ambiental.
- Desprendimiento de calor.

### 1.1.14 Espectrofotómetro

- Espectrofotómetro UV-visible.
- Espectrofotómetro de infrarrojo.

El espectrofotómetro UV-Visible es un aparato para la determinación cuantitativa de compuestos o sustancias. Debido a la alta especificidad de detección de moléculas, es una de las técnicas experimentales más utilizadas. Las aplicaciones de esta técnica van desde la industria alimentaria, química y farmacéutica hasta los laboratorios de docencia. Este instrumento consta de diferentes partes(20):

- Panel de lectura.
- Teclado del espectrofotómetro.
- Compuerta para portaceldas.

Las moléculas son capaces de absorber energía luminosa y guardarla internamente, lo cual permite que se produzcan ciclos vitales de muchos organismos. Por lo tanto, cuando una molécula absorbe un fotón, se excita pasando un electrón de su estado fundamental a su estado excitado, y, esto provoca que la molécula almacene la energía del fotón. La energía se conserva, y, por lo tanto, la diferencia de energía entre el estado fundamental y excitado debe ser igual a la energía del fotón. Además, cada sustancia presenta una estructura molecular diferente que genera una serie de estados excitados específicos de la molécula. Por tanto, el espectro de absorción (luz absorbida en función de la longitud de onda) es la señal de identidad de cada sustancia (21).



**Figura 5. Espectrofotómetro para la detección de concentración de compuestos**  
<https://www.quirumed.com/es/espectrofotometro-uv-visible-modelo-4255.html>

El espectrofotómetro de infrarrojo es un instrumento que utiliza una espectrometría de absorción que utiliza la región infrarroja del espectro electromagnético.

Al igual que las demás técnicas espectroscópicas, pueden ser utilizadas para identificar un compuesto o investigar la composición de una muestra. Esta técnica se basa en las frecuencias de vibración específicas de los enlaces químicos de las sustancias. Dichas frecuencias dependen de la energía potencial de la molécula, la geometría molecular y la masa atómica.

La utilización del espectrofotómetro conlleva la exposición a los siguientes riesgos(5):

- Generación de vapores irritantes y corrosivos.
- Fugas de diferentes tipos de gases.
- Riesgo de exposición a radiaciones ultravioletas.
- Riesgo de exposición a radiación infrarroja.

## **1.2 Actividades y procesos realizados en el laboratorio químico**

En este apartado destacar tres aspectos: Operaciones básicas de laboratorio, Almacenamiento y Gestión de residuos.

### **1.2.1 Operaciones básicas de laboratorio**

Por otro lado, las actividades realizadas en estos centros de trabajo son muy variadas (22):

- Trasvases de líquidos. Normalmente estas operaciones se pueden realizar por vertido libre, con sifón o bomba. Este proceso conlleva la exposición a diferentes riesgos como el riesgo de vertido de líquidos, de derrames accidentales, de intoxicación por vapores, de irritación ocular al realizar el trasvase de compuestos irritantes o corrosivos y de explosión por fuentes de calor próximas o por sobrepresión.
- Operaciones con vacío. El vacío se puede utilizar en actividades como la evaporación, destilación, filtración y el secado.
  1. Evaporación al vacío. Normalmente se realizan en evaporadores rotativos, los cuales generan el calentamiento y la agitación por rotación de la muestra.
  2. Destilación al vacío. Esta operación está basada en la ebullición del líquido, el cual debe controlarse a través de un tubo capilar que deje fluir el aire o el gas inerte.
  3. Filtración al vacío. Esta operación se realiza a través de matraces de vidrio, los cuales deben presentar un buen estado de conservación y deben ser de elevada calidad.
  4. Secado al vacío. Eliminación de líquido desde un sólido con ayuda de vacío.

Entre las diferentes operaciones con vacío puede haber riesgo de implosión del aparato y proyecciones del material, de aspiración accidental de un líquido y de producción de reacciones peligrosas de productos químicos.

- Mezcla de productos. Crear diferentes disoluciones o mezclas para la posterior realización de experimentos. Ante esta operación existe riesgo de emisión brusca de

vapores, o de reacciones imprevistas que terminen en proyecciones y salpicaduras. También hay riesgo de derrame por reacciones exotérmicas.

- Reacciones químicas: son cambios químicos en los cuales dos o más compuestos se transforman cambiando su estructura molecular y sus enlaces en otras sustancias llamadas productos. Esta transformación de unos productos en otros se produce en cualquier actividad realizada en el laboratorio, como la preparación de disoluciones, procesos de combustión etc. Normalmente, las reacciones químicas que más riesgo presentan son las exotérmicas, las cuales son consideradas peligrosas ya que existe posibilidad de derrame accidental, de emisión brusca de vapores y gases tóxicos, de posibilidad de explosión etc.
- Extracción con disolventes volátiles. Puede haber una extracción en caliente, líquido-líquido o sólido-líquido. La extracción en caliente es una operación muy usual en los laboratorios de química, de hecho, se suele realizar con líquidos volátiles inflamables. Por otro lado, la extracción líquido-líquido es una operación que se realiza a temperatura ambiente y con un compuesto orgánico volátil inflamable. Por último, la extracción sólido-líquido es una operación que cada vez se va utilizando con una mayor frecuencia.

En el caso de la extracción en caliente, existe riesgo de incendio o explosión según las sustancias utilizadas. Por otro lado, en el caso de la extracción líquido-líquido existe riesgo de proyección de líquidos y de producción de cantidades elevadas de vapores. Por último, en el caso de extracción sólido-líquido, existen riesgos derivados de operar con presión y vacío.

- Destilación. Es una de las actividades que más se realiza en los laboratorios, en la cual se separa una sustancia volátil de una mezcla por medio de la evaporación. Durante la realización de esta operación existe riesgo de rotura del recipiente e inflamación, de emisión de vapores, de generación de atmósfera inflamable y de proyecciones y salpicaduras por ebullición irregular.
- Evaporación - secado: la evaporación consiste en la separación de un disolvente volátil de un sólido no volátil por vaporización del disolvente; el agua es el disolvente que con más frecuencia se separa. Existen dos tipos de evaporación: de efecto simple y de efecto múltiple. Por otro lado, el secado consiste en la eliminación de humedad de una sustancia que presente una pequeña cantidad de agua por medio de evaporación en una corriente gaseosa. Por lo general, lo que se elimina es el agua, la cual se pone en contacto con una corriente gaseosa que comúnmente es aire. En algunas ocasiones se utilizan gases calientes(23). En este caso, existe riesgo de emisión de vapores tóxicos e inflamables.
- Deseccación de un líquido. Se utilizan compuestos sólidos peligrosos para la eliminación de agua presente en líquidos orgánicos. Esta actividad puede realizarse utilizando perclorato de magnesio o sodio. En el caso del uso de perclorato de magnesio, existe riesgo de generar ácido perclórico, el cual tiende a explotar. En el caso del uso de sodio, existe la posibilidad de desprender hidrógeno, el cual presenta riesgo de inflamación.



- Limpieza del material de vidrio. Esta operación es muy habitual, y, además, en muchos casos suele ser realizada por personal de limpieza. En estas operaciones lo más usual es utilizar sustancias como acetona, mezcla crómica o metanol. Debido a ser realizado por personal no especialista en productos químicos, existe un desconocimiento de los riesgos. De hecho, al realizar estas operaciones hay riesgo de sufrir dermatitis, quemaduras cutáneas y oculares por los productos utilizados en la propia operación, y, por los productos residuales contenidos en el material que se estaban limpiando.
  1. Acetona: conlleva el riesgo de irritación ocular y de vías respiratorias, y, por último, riesgo de incendio ya que es una sustancia inflamable.
  2. Mezcla crómica: disolución de ácido sulfúrico, trióxido de cromo o dicromato potásico. Esta mezcla es muy tóxica, corrosiva y está clasificada como cancerígeno de tipo 2.
  3. Metanol: este compuesto es tóxico por inhalación e ingestión, y, además, es una sustancia inflamable.
- Transporte de recipientes conteniendo productos químicos. Es una operación muy importante y frecuente ya que es la forma de obtener los compuestos que requiere el laboratorio, y, además, es la manera de librarse de cualquier tipo de residuo generado en los diferentes experimentos llevados a cabo en esta instalación. El transporte de recipientes que contienen sustancias químicas, expone al personal a riesgos como rotura y derrame del líquido del recipiente, de contaminación, de intoxicación y de inflamación.

Además de los riesgos expuestos tras la utilización de diversos aparatos y la realización de operaciones, la manipulación de los propios productos químicos en el laboratorio conlleva la exposición a diversos peligros. Cada tipo de peligro presenta diferentes categorías de peligro, de tal forma que se puede comparar la gravedad de los peligros dentro de una misma clase de peligro (24):

- Peligros físicos(25):
  1. Explosivos (6 categorías): compuesto o mezcla de sustancias que espontáneamente por medio de una reacción pueden llegar a desprender gases en unas determinadas condiciones, las cuales pueden generar daños a su alrededor.
  2. Inflamables
    - Gases inflamables (2 categorías): son gases que se inflaman con aire a 20°C y a una presión de 101,3 kPa.
    - Aerosoles inflamables (2 categorías): gases comprimidos, licuados, con o sin líquido, contenidos en recipientes compuestos de metal, vidrio o plástico. Estos aerosoles presentan un dispositivo de descarga que expulsa el contenido en forma de partículas sólidas o líquidas en suspensión.
    - Líquidos (4 categorías): líquidos con un punto de inflamación no superior a 60°C.
    - Sólidos (2 categorías): materia sólida que arde muy fácilmente y es capaz de inflamar a través de un proceso de fricción.

3. Comburentes: son gases que liberando oxígeno pueden producir la combustión de otras sustancias. Existen comburentes:
    - Líquidos (3 categorías).
    - Sólidos (3 categorías).
    - Gases (1 categoría).
  4. Gases bajo presión (4 categorías): gases que se encuentran a 200 kPa o más en el interior de un recipiente.
  5. Sustancias autorreactivas (7 categorías): compuestos térmicamente inestables que pueden ser sólidos o líquidos, los cuales pueden provocar una reacción exotérmica incluso en ausencia de oxígeno.
  6. Líquidos pirofóricos (1 categoría): líquidos que pueden arder al cabo de cinco minutos tras mezclarse con el aire.
  7. Sólidos pirofóricos (1 categoría): sólidos capaces de arder al cabo de 5 minutos de entrar en contacto con aire.
  8. Sustancias que experimentan calentamiento espontáneo (2 categorías): mezclas de compuestos sólidos y líquidos que pueden aumentar su temperatura al entrar en contacto con el aire sin necesidad de aporte energético. La diferencia con los anteriores es que estas sustancias deben estar presentes en grandes cantidades y tras un largo periodo de tiempo acontecido.
  9. Gases inflamables activados por agua (3 categorías): mezclas de sólidos o líquidos que tras entrar en contacto con agua tienden a liberar gases.
  10. Peróxidos orgánicos (7 categorías): mezcla de compuestos líquidos o sólidos térmicamente inestables, los cuales pueden sufrir una reacción exotérmica.
  11. Corrosivos para metales (1 categoría): sustancias que debido a su composición química pueden destruir los metales.
- Peligros para la salud y el medio ambiente (25):
    1. Toxicidad aguda (5 categorías): son los efectos nocivos que se generan tras la administración por vía oral o cutánea tras una sola dosis, dosis múltiples durante 24 horas o una inhalación durante 4 horas.
    2. Corrosión e irritación en la piel (3 categorías): la corrosión es una lesión irreversible en la piel, tales como úlceras, sangrado y escaras sangrantes. Por otro lado, la irritación cutánea es una lesión reversible de la piel.
    3. Lesiones oculares graves o irritación ocular (2 categorías): la lesión ocular grave es aquella que daña el tejido ocular como consecuencia de la aplicación de una sustancia. Por otro lado, la irritación ocular hace referencia a una alteración ocular como consecuencia de la utilización de ciertos compuestos.
    4. Sensibilizante: respiratorio (1 categoría) y cutáneo (1 categoría). El respiratorio hace referencia a sustancias que generan hipersensibilidad en el tracto respiratorio, y, por otro lado, el cutáneo hace referencia a la reacción alérgica de la piel ante el contacto con un agente químico.
    5. Mutagénico (2 categorías): sustancias o mezclas de compuestos capaces de generar un cambio en el ADN celular.
    6. Carcinógeno (2 categorías): sustancia o mezcla de compuestos que pueden generar cáncer o aumentar su incidencia. Para determinar la carcinogenicidad

de una sustancia se realizan estudios en animales de experimentación, los cuales nos dan la siguiente clasificación:

- Categoría 1: 1A o 1B.
  - Categoría 2.
7. Tóxico: para la reproducción (1 categoría) y sobre la lactancia (1 categoría). Los tóxicos para la reproducción producen efectos adversos sobre la función sexual y la fertilidad de hombres y mujeres, es decir, generan efectos nocivos sobre la descendencia. De hecho, al igual que los carcinógenos, presentan dos clasificaciones: Categoría 1: 1A o 1B y Categoría 2. Respecto a los tóxicos para la lactancia, son sustancias o compuestos que se absorben por las mujeres y pueden influir en la lactancia, de tal forma que están presentes en la leche materna y esto es negativo para los lactantes.
8. Toxicidad sistémica para órgano diana: exposición simple (2 categorías) y exposición repetida (2 categorías). Dentro de la exposición simple tenemos los compuestos que producen una toxicidad no letal en determinados órganos tras una única exposición. Por otro lado, los compuestos que producen toxicidad debido a una exposición repetida son aquellos que pueden producir alteraciones funcionales reversibles e irreversibles.
9. Toxicidad para el medio ambiente acuático: aguda (3 categorías) y crónica (4 categorías). Propiedad de compuestos que pueden generar efectos adversos en organismos acuáticos tras una corta duración.

### **1.2.2 Almacenamiento de productos químicos**

En los laboratorios químicos no solo se emplean productos químicos para realizar experimentos, sino que, tras la utilización de estos compuestos, es necesario que se realice un adecuado almacenamiento de todo tipo de sustancias para su posterior utilización(22). Esta actividad conlleva una elevada peligrosidad, la cual puede generar accidentes laborales si no se han tomado las medidas preventivas correspondientes. Normalmente, estos riesgos se determinan por la peligrosidad del propio producto, la cantidad de sustancia almacenada, el envase, el tamaño, la ubicación...(26). La presente actividad está regulada por el real decreto 656/2017, el cual tiene por objeto establecer las condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y trasiego de productos químicos peligrosos(27).

Los riesgos más frecuentes relacionados con el almacenamiento son:

- La posibilidad de generación de peróxidos inestables, los cuales representan un alto riesgo de explosión.
- La posibilidad de polimerización de ciertas sustancias, las cuales en ciertos casos pueden reaccionar rápidamente y generar riesgo de explosión y de incendio.
- La posibilidad de deterioro del envase, lo cual conlleva a la existencia de riesgo de derrame.

- Finalmente, el almacenamiento de sustancias químicas puede presentar riesgo de estallido del recipiente por descomposición lenta de ciertas sustancias y acumulación de gases.

### 1.2.3 Gestión de residuos en laboratorios de docencia química

Los residuos generados en el laboratorio son peligrosos debido a su composición química. Debido a este hecho, todos los residuos están regulados por el reglamento REACH en relación al registro, evaluación, autorización y restricción. También se encuentran regulados por el reglamento CLP en relación con el etiquetado, clasificación y envasado de productos químicos(28). Los residuos principales producidos en la unión europea son los siguientes:

- Municipales.
- Peligrosos.
- Empaquetado.
- Plásticos.
- Aceites.

...

La gestión de residuos se encuentra regulada por la directiva 2006/12/CE con el objetivo de proteger la salud del ser humano y del medio ambiente. De esta manera, se intenta evitar las posibles consecuencias perjudiciales producidas por la recogida, transporte, almacenamiento y depósito de residuos. Además de la directiva 2006/12/CE, existe otra directiva relacionada con los residuos (2008/98/CE) donde se desarrollan diferentes conceptos como la definición de residuos, valorización y eliminación.

- Residuo: un residuo es cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprende o tiene la intención u obligación de desprenderse.
- Residuo peligroso: residuo que presenta una o varias características peligrosas descritas posteriormente.
- Tratamiento: las operaciones de valorización o eliminación, incluyendo la preparación anterior a la valorización o eliminación.
- Valorización: incluye cualquier actividad relacionada con generar residuos que sirvan a una finalidad útil.
- Reciclar: actividad de valorización a través de la cual los residuos son transformados otra vez en productos, materiales o sustancias.
- Eliminar: operaciones no relacionadas con la valorización o el reciclaje, sino que tienen el fin de eliminarlas sin posibilidad de recuperación.

Por otro lado, la clasificación de los residuos peligrosos viene determinada por el anexo III del Reglamento 1357/2014. Para establecer la clasificación de los residuos hace falta basarse en el etiquetado GHS del reglamento CLP y en la proporción de los componentes del residuo que presenten las frases de peligro GHS. Dicha clasificación va del HP1 hasta el HP15:

- HP1: explosivo.
- HP2: oxidante.
- HP3: inflamable.
- HP4: irritante.
- HP5: nocivo.
- HP6: tóxico.
- HP7: cancerígeno.
- HP8: corrosivo.
- HP9: infeccioso.
- HP10: tóxico para la reproducción.
- HP11: mutagénico.
- HP12: residuos que emiten gases tóxicos o muy tóxicos al entrar en contacto con agua, aire o un ácido.
- HP13: sensibilizante.
- HP14: ecotóxico.
- HP15: residuos susceptibles, tras su eliminación, de generar otra sustancia de características parecidas a una de las anteriores.

En la gestión de residuos es importante aportar una serie de pruebas para el control de los residuos. Además, está totalmente prohibido realizar cualquier tipo de mezclas con ellos y es obligatorio proporcionar un etiquetado y un envase especial. De hecho, en el etiquetado de los residuos es obligatorio que lleven un código específico denominado código LER. Estos códigos son utilizados para la clasificación de los residuos a través de una lista europea de residuos. Dichos códigos son estructurados en varios dígitos:

- Capítulos: los dos primeros dígitos.
- Subcapítulos: el tercer y cuarto dígito.
- Códigos: el quinto y sexto dígito.

Ejemplos:

01: residuos de la prospección, extracción de minas y canteras y tratamientos físicos y químicos de minerales.

02: residuos de la agricultura, horticultura, silvicultura, caza y pesca.

- Los riesgos asociados a la gestión de residuos son los siguientes: generalmente, se producen concentraciones muy bajas, las cuales son diversas y presentan una peligrosidad elevada desde el punto de vista fisicoquímico, toxicológico y medioambiental. Esta gestión debe organizarse en función de los principios de minimización, reutilización, tratamiento y eliminación segura. Por lo tanto, es muy importante la elaboración de un programa de gestión de residuos en el laboratorio químico, el cual debe contemplar absolutamente todos los residuos(29). En el caso de las actividades de eliminación o gestión de residuos, tenemos otro riesgos detectados (30):

- Descarga: exposición a sustancias nocivas, exposición a agentes químicos y exposición a agentes biológicos.
- Vertido en foso: exposición a sustancias nocivas, contacto con sustancias corrosivas, exposición a agentes químicos y a agentes biológicos.
- Control de prensa: exposición a sustancias nocivas, contacto con sustancias corrosivas, exposición a agentes químicos, exposición a agentes biológicos y exposición al ruido.
- Mantenimiento y limpieza: exposición a sustancias nocivas, contacto con sustancias corrosivas, exposición a agentes químicos y biológicos.
- Carga: exposición a agentes biológicos y a ruido.

Otros riesgos higiénicos:

Además de todos los riesgos y peligros citados, el uso de algunos equipos de trabajo del laboratorio puede producir niveles de ruido que pueden llegar a afectar la salud del personal del laboratorio e incomodar durante la jornada laboral. El ruido es una apreciación subjetiva de un sonido, de hecho, un mismo sonido puede considerarse molesto o agradable en función de la situación y la sensibilidad de la persona (25).

La innovación tecnológica en el campo de los laboratorios ha provocado un aumento en la automatización de los procesos, lo cual aumenta el número de analizadores (maquinaria) utilizados en el laboratorio. Como consecuencia, los niveles de ruido en estas zonas de trabajo han aumentado considerablemente, y, por lo tanto, deben ser evaluados periódicamente. Debido a este aumento de los niveles de ruido en estas instalaciones, también han aumentado las posibilidades de desarrollar trastornos del sueño, de aumentar la tensión muscular, la irritabilidad, la fatiga física acelerada, la taquicardia y la presión sanguínea, los efectos sobre el metabolismo y la digestión, y, por último forzar la voz (31).



**Figura 6. Señal de riesgo de exposición a ruido**

<http://www.expower.es/incendio.php?codigo=implaser-senalespeligro-adhad13>

Debido al uso de todos estos equipos de trabajo, también existe exposición a vibraciones ya que en el laboratorio son utilizados diferentes aparatos o instrumentos capaces de transmitir vibraciones al personal. Un ejemplo de aparatos que transmiten vibraciones son los agitadores. Debido a la forma de utilización de estos instrumentos, las vibraciones transmitidas principalmente, son de tipo mano-brazo. Por lo tanto, los posibles efectos sobre la salud serán los siguientes(32):

- Afecciones vasculares: depende de la dosis de vibración proporcionada en relación con la duración de la exposición, además de la temperatura, flujo de aire, humedad, ruido y características personales. Normalmente, este tipo de alteraciones presentan una afectación circulatoria periférica, la cual es caracterizada por palidez de los dedos de la mano o síndrome de Reynaud.
- Trastornos musculoesqueléticos: este tipo de alteraciones son lesiones que afectan fundamentalmente a tejidos del aparato locomotor, es decir, músculos, tendones, nervios y articulaciones. El principal síntoma de estos trastornos es el dolor debido a la inflamación existente en la zona, además de la rigidez, contracturas y disminución de la fuerza. Por otro lado, los trastornos musculoesqueléticos afectan más frecuentemente a la muñeca debido a la exposición a vibraciones mano-brazo.
- Afectaciones neurológicas: de este tipo de alteraciones hay menos estudios que demuestren dicha relación. Por otro lado, sí que existen algunos estudios que han estipulado que la exposición continua a vibraciones mano-brazo puede generar el desarrollo de una neuropatía periférica, la cual puede producir un edema perineural en los dedos. Este edema podría ser capaz de evolucionar a fibrosis y al deterioro profundo de la fibra nerviosa.

## **2.OBJETIVOS**

Los objetivos que quiero conseguir con este trabajo fin de máster son los siguientes:

- Detectar y definir los riesgos higiénicos presentes en los laboratorios de docencia química.
- Evaluar la peligrosidad de un laboratorio de docencia química visitado.
- Realizar una medición representativa de algunos de los compuestos gaseosos más frecuentes en un laboratorio de docencia de química general.
- Evaluar si los resultados obtenidos de la medición superan los valores límite ambiental establecidos por normativa.
- Proponer diferentes medidas preventivas ante los riesgos higiénicos estudiados en este tipo de laboratorios.
- Descripción exhaustiva de los equipos de protección individual más utilizados en los laboratorios.

## **3. MATERIAL Y MÉTODOS**

En el presente trabajo he realizado una revisión bibliográfica, además de realizar una medición en un laboratorio de una universidad. Respecto a la revisión bibliográfica, he obtenido toda la información a través de diferentes fuentes bibliográficas, fundamentalmente notas técnicas de prevención del INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo). Este trabajo lo he estructurado en diferentes partes, primero he comenzado con una breve descripción de qué es un laboratorio químico, tras

esto, he nombrado las diferentes operaciones frecuentes realizadas en el laboratorio y todos los instrumentos presentes en estas instalaciones. Además, el contenido de este trabajo también presenta la mención de diferentes riesgos higiénicos asociados tanto a las operaciones realizadas en el laboratorio como a los aparatos más utilizados y los peligros asociados al propio producto químico. No solo he hecho mención a los diferentes riesgos existentes, sino también a las medidas preventivas asociadas a todo lo anterior. Para la exposición a los riesgos relacionados con las actividades realizadas en el laboratorio y las medidas preventivas asociadas, me he basado en la nota técnica de prevención 464. Por otro lado, en el caso de los riesgos y medidas asociados a los instrumentos y aparatos de estas instalaciones me he basado en la nota técnica de prevención 433, y, también, en páginas webs de diferentes marcas de instrumentos de laboratorio. Para establecer más medidas preventivas debido a la exposición al riesgo químico, me he basado también en la guía técnica de riesgos químicos del instituto. Por último, además de obtener medidas de prevención individual, he querido mostrar otras medidas de protección a nivel individual. Para ello, me he centrado en las notas técnicas de prevención 517 y 518.

Por otro lado, he realizado una evaluación de la peligrosidad en el laboratorio a partir de las notas técnicas de prevención 987 y 988. La metodología en la cual se ha basado esta evaluación es estimar y clasificar los laboratorios químicos según su peligrosidad, sin ser necesario realizar mediciones ambientales. Para ello, es necesario obtener el índice IPMAQ, el cual muestra el grado de peligrosidad del laboratorio.

Para calcular el índice IPMAQ es necesario obtener diferentes índices, tales como el índice de almacenamiento, de extracción localizada, de mantenimiento de las instalaciones y equipos, de protección dérmica, de protección ocular, etc. Dichos índices una vez sumados te darán un resultado, el cual nos sirve para calcular el IPMAQ(4). Una vez obtenidos los diferentes valores, se introducen en la siguiente ecuación para obtener el índice IPMAQ =  $I_s(IL+I_r)$ .

$I_s$ : índice de riesgo global de la sustancia  $i$

$IL$ : índice de peligrosidad asociado al laboratorio

$I_r$ : índice de peligrosidad asociado a la persona

El  $IL$  se obtiene a partir de diferentes factores como el índice de almacenamiento ( $I_a$ ), el índice de extracción localizada ( $IL_o$ ), el factor de manejo de sustancias ( $k$ ), el índice de ventilación general ( $I_v$ ), el índice de equipos ( $I_e$ ) y el índice de mantenimiento de las instalaciones ( $I_m$ ) (4).

$$IL = I_a + IL_o + kI_v + I_m + I_e$$

Por otro lado,  $I_r$  se obtiene a partir de variables que presentan relación con el personal que se encuentra en el laboratorio. Dicho índice se obtiene a partir del índice de protección respiratoria ( $I_{pr}$ ), del índice de protección dérmica ( $I_{pd}$ ), del índice de protección ocular ( $I_{po}$ ), del índice de formación ( $I_f$ ) y del índice de prácticas de higiene personal(4).



$$I_r = I_{pr} + I_{pd} + I_{po} + I_f + I_h$$

Para seleccionar los índices mencionados, en la ntp 987 existen diversas tablas para seleccionar el valor concreto de los diferentes índices específicos, como el de almacenamiento, el de mantenimiento de las instalaciones etc. (ntp = nota técnica de prevención).

Departamento/Sección.:		Laboratorio n°:	
Cumplimentado por:		Fecha:	
<b>Índice de Almacenamiento: Ia</b>			
1	Se dispone de almacén de seguridad, armarios de seguridad para productos muy tóxicos e inflamables, separándolos del resto de productos y se adoptan criterios de almacenamiento de compatibilidad química.	6	No se dispone de ventilación forzada en el laboratorio o se dispone de ventilación forzada insuficiente cuyo funcionamiento es además deficiente o se puede trabajar con una vitrina de gases en funcionamiento, y es viable la apertura de puertas y ventanas.
		8	No existe ventilación ni forzada ni natural.
2	No se dispone de almacén específico de productos químicos, pero al menos se dispone de armarios de seguridad para almacenar los de mayor toxicidad y los inflamables. Se dispone de almacén de seguridad, aunque no hay criterios de segregación para separar los productos según su compatibilidad química.	<b>Índice de mantenimiento de instalaciones: Im</b>	
		0	Adecuada.
		6	No adecuada.
3	No se dispone de almacén específico de productos químicos, y todos ellos se hayan dispersos por las diferentes dependencias del laboratorio.	6	No disponible.
<b>Índice mantenimiento de equipos: Ie</b>			
		0	Adecuado.
		3	No adecuado.
		3	No disponible.
<b>Índice de extracción localizada: ILo</b>			
0	Existe extracción localizada, es suficiente y funciona adecuadamente.	<b>Índice de protección respiratoria: Ipr</b>	
1	Existe extracción localizada, es limitada y funciona adecuadamente. Existe extracción localizada, es suficiente y funciona deficientemente.	1	Se usa la mascarilla adecuada, certificada CE, para el agente químico al cual se está exponiendo el trabajador.
.	Existe extracción localizada, es insuficiente y funciona adecuadamente.		Se usan mascarillas de "panel y/o celuloas" no certificadas para

**Figura 7. Tablas de selección de valores para calcular el índice IPMAQ NTP 987**

Por otro lado, la siguiente tabla de la ntp 988 representa los índices de riesgo que se pueden asignar a cada sustancia presente en el laboratorio. Como en el laboratorio se utilizan una gran cantidad de sustancias, hay que realizar el sumatorio de todos los índices de riesgo de todas las sustancias (33). Para saber el índice de riesgo de cada sustancia, hay que seguir los pasos de la ntp 936. En dicha ntp hay que buscar las frases H de cada sustancia, seleccionar la cantidad utilizada y seleccionar el nivel de volatilidad de la sustancia. Una vez seleccionamos tales parámetros, se miran unas tablas y se obtienen 4 niveles de riesgo, los cuales corresponden con la tabla de la ntp 988 (1=bajo, 2=medio, 3=alto y 4=muy alto)(34).

Índice	Condición	Clasificación	Valor
Índice de riesgo de cada sustancia	Bajo	½	1
	Medio	2	4
	Alto	3	6
	Muy alto	4	8

**Figura 8. Tablas de cálculo del índice de riesgo de cada sustancia NTP 988**

Además de seleccionar los diferentes valores de los índices, es necesario realizar una entrevista al responsable del laboratorio para realizar una evaluación completa de la peligrosidad del laboratorio. Dicha entrevista, será realizada y especificada más adelante.

Como bien he mencionado, el laboratorio de docencia química es una zona expuesta a muchos agentes químicos de diferente peligrosidad, desde irritantes y sensibilizantes hasta cancerígenos y tóxicos para la reproducción. Debido a esta gran peligrosidad, en el presente trabajo he realizado una medición de compuestos químicos en un laboratorio de prácticas de docencia química. Tal medición se llevó a cabo a través de la utilización de diferentes materiales:

- Bomba MSA Scort-Elf con calibrador DEFENDER 510.
- Soporte de captación de sustancias: tubo de carbón activo 100/50 mg.

La bomba Scort-Elf puede ser utilizada para la captación de una gran variedad de contaminantes, tales como fibras de asbesto, sílice, polvo de madera, vapores, humos y gases tóxicos. Debido a su gran variabilidad de uso, esta bomba puede ser manejada en la mayor parte de métodos de higiene industrial. Además, presenta un sensor de flujo laminar combinado con un sensor de presión diferencial para medir la muestra. El sensor de flujo laminar genera una señal eléctrica que está relacionada directamente con dicho flujo, y, dicha señal es utilizada para mantener el flujo laminar seleccionado de forma constante (35).



**Figura 9. Bomba Scort-Elf utilizada para realizar la medición de gases**  
[https://www.ebay.com/itm/Zefon-805560-Escort-ELF-Single-Pump-Kit-120V-New-/140916443678?\\_ul=GT](https://www.ebay.com/itm/Zefon-805560-Escort-ELF-Single-Pump-Kit-120V-New-/140916443678?_ul=GT)

En la medición, se utilizó un tubo de muestreo de vidrio con ambos extremos cerrados a la llama. El utensilio presenta unas dimensiones de 7 cm longitud aproximadamente, 6 mm de diámetro externo y 4 mm de diámetro interno. Por otro lado, en su interior, existen dos secciones de carbón activo, las cuales se encuentran divididas por un trozo de espuma de poliuretano de 2mm. La primera sección presenta 100 mg de carbón y la segunda 50 mg. Por último, estos tubos deben presentar tapones de polietileno bien sujetos, de tal forma que se pueda evitar cualquier tipo de fuga durante el transporte o almacenamiento de la muestra(36).



**Figura 10. Tubo de carbón activo utilizado como soporte de captación en la medición**  
[https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-615400058-tubos-de-carbon-activo-para-muestras-sk-cod-226-01- \\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-615400058-tubos-de-carbon-activo-para-muestras-sk-cod-226-01- _JM?quantity=1)

El método de adsorción en carbón activo, es un método aceptado por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, el cual, ha pasado diferentes protocolos de validación por órganos competentes del área de normalización de métodos analíticos. En este caso, se ha utilizado un tubo de carbón activo 100/50 mg, el cual es utilizado para recoger una cantidad específica de aire mediante una bomba de muestreo personal. Una vez el aire atraviesa el tubo gracias a la bomba utilizada, los vapores orgánicos presentes en el ambiente quedan adsorbidos en el carbón activo (36).

La medición fue realizada para los siguientes compuestos:

- Tolueno:

Líquido inflamable que es depresor del sistema nervioso. Se usa como disolvente y puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias ya que se absorbe muy bien en dichos órganos. Normalmente es utilizado como disolvente en aceites, resinas, caucho natural y sintético, pinturas y barnices(37).

VLA: VLA-ED: 192 mg/m<sup>3</sup> o 50 ppm VLA-EC: 384mg/m<sup>3</sup> o 100 ppm.

Frases H:

- Líquido y vapores muy inflamables, H225.
- Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias, H304.
- Provoca irritación cutánea, H315.
- Puede generar somnolencia o vértigo, H336.

- Se sospecha que daña el feto, H361d.
- Puede generar daños en los órganos tras exposiciones largas o repetidas, H373.

- **Ácido acético:**

El ácido acético es una sustancia la cual proporciona al vinagre su característico olor y sabor. Normalmente es un compuesto utilizado como disolvente en laboratorios de química para diferentes tipos de análisis, y, por otro lado, para eliminar las impurezas de los productos químicos (38).

VLA: VLA-ED: 25 mg/m<sup>3</sup> o 10 ppm VLA-EC: 50 mg/m<sup>3</sup> o 20 ppm.

Frases H:

- Líquidos y vapores inflamables, H226.
- Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves, H314.

- **Hexano:**

El hexano o n-hexano es un hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono. Este compuesto suele ser utilizado en columnas de cromatografía de los laboratorios, además de para la extracción de aceites vegetales, como disolvente y como medio de reacción en procesos industriales(39).

VLA: VLA-ED: 72 mg/m<sup>3</sup> o 20 ppm.

Frases H:

- Líquidos inflamables (Categoría 2), H225.
- Irritaciones cutáneas (Categoría 2), H315.
- Toxicidad para la reproducción (Categoría 2), H361f.
- Toxicidad específica en determinados órganos - exposición única (Categoría 3), Sistema nervioso central, H336.
- Toxicidad específica en determinados órganos - exposiciones repetidas (Categoría 2), H373.
- Peligro de aspiración (Categoría 1), H304.
- Toxicidad acuática crónica (Categoría 2), H411.

A la hora de realizar la medición, cada compuesto presenta diferentes parámetros de caudal, tipo de filtro, volumen y tiempo de aspiración recomendado (en este caso se ha utilizado el mismo tipo de filtro para todos):

- **Tolueno:**

Caudal: 0,2 L/min.

Tiempo de aspiración: 52 minutos.

- **Ácido acético:**

Caudal: 0,2 L/min.

Tiempo de aspiración: 53 minutos.

- **Hexano:**

Caudal: 0,2 L/min.

Tiempo de aspiración: 30 minutos.

Durante la medición se llevaron a cabo los siguientes pasos:

1. Unimos el calibrador con la bomba de aspiración a través del filtro.
2. Encendemos el calibrador y calibramos para asegurarnos de que va a medir al caudal específico para cada compuesto.
3. Quitamos el calibrador una vez hemos calibrado.
4. Colocamos la bomba en un voluntario de prácticas, de tal forma que se pueda colocar el instrumento en la zona más cercana de la respiración.
5. Le damos al botón ON para que la bomba comience a aspirar.
6. Una vez la bomba comience a aspirar, controlamos el tiempo de medición para cada compuesto.
7. Paramos la bomba de aspiración e identificamos cada uno de los filtros.
8. Mandamos todos los filtros al laboratorio para que analicen las muestras a través de técnicas de análisis concretas. Es importante mandar también un filtro de control para controlar que no haya habido ningún tipo de contaminación hasta llegar al laboratorio.

#### 4. RESULTADOS

Siguiendo la metodología de las ntp 987 y 988, en el caso del laboratorio estudiado se han obtenido los siguientes resultados:

$$IL = Ia + ILo + kIv + Im + Ie$$

$$IL = 1 + 1 + 4 \times 0 + 6 + 6 = 14$$

$$Ir = Ipr + Ipd + Ipo + If + Ih$$

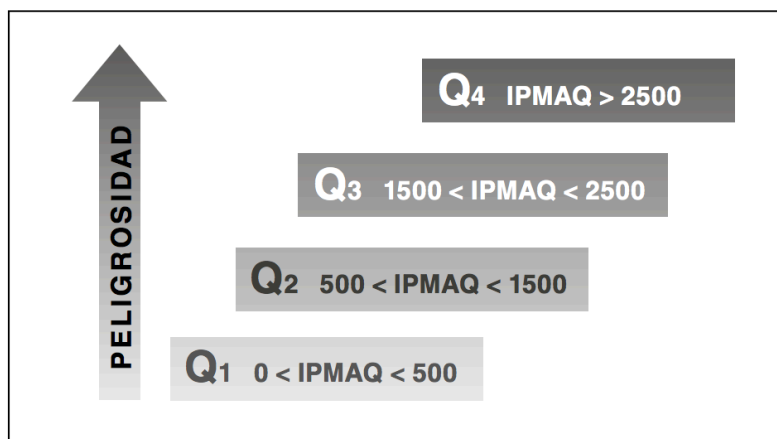
$$Ir = 8 + 0 + 1 + 1 + 1 = 11$$

Respecto al  $I_s$ , como hay que hacer un sumatorio de todas las sustancias químicas utilizadas, lo voy a realizar de los productos químicos más utilizados según la entrevista con el responsable del laboratorio (33). Para ello, tenemos que indicar previamente el riesgo potencial calculado según la ntp 936, y, tras ello, hay que indicar el valor que le corresponde a cada sustancia para realizar el sumatorio según la ntp 988.

- Índice de riesgo ácido clorhídrico > Riesgo potencial: 2 > alto: 4.
- Índice de riesgo diclorometano > Riesgo potencial: 3 > muy alto: 6.
- Índice de riesgo hexano > Riesgo potencial: 3 > muy alto: 6.
- Índice de riesgo ácido acético > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo ácido sulfúrico > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo tolueno > Riesgo potencial: 2 > alto: 4.
- Índice de riesgo hidróxido sódico > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo cloruro de mercurio > Riesgo potencial: 4 > muy alto: 8.

- Índice de riesgo ácido salicílico > Riesgo potencial: 1 > bajo: 1.
- Índice de riesgo cloruro férrico > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo anhídrido acético > Riesgo potencial: 3 > muy alto: 6.
- Índice de riesgo yodato de potasio > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo hidrogenosulfito de sodio > Riesgo potencial: 1 > bajo: 1.
- Índice de riesgo ácido oxálico > Riesgo potencial: 1 > bajo: 1.
- Índice de riesgo nitrato de cobre > Riesgo potencial: 2 > alto: 4.
- Índice de riesgo nitrato de plata > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo sulfato de zinc > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo sulfato de magnesio > Riesgo potencial: 1 > bajo: 1.
- Índice de riesgo sulfato de hierro > Riesgo potencial: 1 > medio: 1.
- Índice de riesgo nitrato de potasio > Riesgo potencial: 1 > bajo: 1.

Por lo tanto, el sumatorio de Is es:  $4+6+6+1+1+4+1+8+1+1+6+1+1+1+4+1+1+1+1+1 = 51$ . Una vez obtenidos los índices mencionados, vamos a calcular el  $IPMAQ = Is(IL+Ir) = 51(14 + 11) = 1275$ .



**Figura 11. Peligrosidad según el índice IPMAQ**  
NTP 988

Por último, en la entrevista realizada se obtuvieron las siguientes respuestas(4):

- ¿Con qué sustancias trabaja usted a diario de manera habitual? Ácido clorhídrico, diclorometano, hexano, ácido acético, ácido sulfúrico, tolueno, hidróxido sódico, anhídrido acético, ácido salicílico, cloruro férrico, yodato de potasio, hidrogenosulfito de sodio, ácido oxálico, nitrato de cobre, cloruro de mercurio, nitrato de plata, sulfato de zinc, sulfato de magnesio, sulfato de hierro y nitrato de potasio.
- De las sustancias anteriores indique las cantidades que utiliza normalmente: las cantidades rondan entre los 5ml y los 500 ml.
- ¿Trabaja usted con productos que usted considere que son peligrosos para su salud? Indique del 1 al 5 su valoración: 5 pero se trabaja en campana y con las protecciones correspondientes.

- Cite aquellas sustancias que usted considere más peligrosas de su laboratorio. De entre ellas, destaque las que maneja a diario: las sustancias más peligrosas son los compuestos corrosivos y los compuestos que emanan gases tóxicos por inhalación. Entre las sustancias más peligrosas, destacar el ácido sulfúrico y el hidróxido sódico como corrosivos no volátiles, el ácido clorhídrico como corrosivo, volátil e irritante, el anhídrido acético como corrosivo, inflamable, volátil y tóxico (que se ha medido en forma de ácido acético), tolueno y hexano como inflamables, volátiles y tóxicos, así como el cloruro de mercurio como tóxico no volátil. Todas se usan con frecuencia en laboratorios de docencia química general.
- ¿Considera que las instalaciones de ventilación general o por extracción localizada de que dispone son adecuadas? Indique de 1 a 5 su valoración: 5. A parte de existir ventilación general, cada vez que se realizan operaciones peligrosas, se realizan en cabinas de extracción, lo cual proporciona una gran protección al personal de laboratorio.
- ¿Considera que el mantenimiento de las instalaciones del laboratorio (Protección contra incendios, gases, electricidad, etc.) es adecuado? Indique su valoración de 1 a 5: 5. Tras la visita realizada al laboratorio químico, pude comprobar el claro cumplimiento del Real Decreto 842/2002 sobre instalaciones de baja tensión, del Real Decreto 513/2017 sobre la protección frente a incendios y del Real Decreto 919/2006 sobre la protección frente a las instalaciones de gases.
- ¿Dispone de los medios para protegerse contra los riesgos de exposición a agentes químicos (Protección respiratoria, protección ocular y protección dérmica)? Indique de 1 a 5 su valoración: 5. Por un lado, en el laboratorio visitado el alumnado que realizaba las prácticas iba con gafas, guantes y bata, lo cual nos indica que hay una disponibilidad de medios para protegerse. Por otro lado, también existe un kit antiderrame, duchas, lavaojos, extintores, señalización de emergencia y cabinas de extracción para actividades de mayor riesgo. Todo esto nos indica que el laboratorio visitado se encuentra totalmente equipado de los medios necesarios para protegerse frente a dichos riesgos.
- ¿Se considera una persona formada en los riesgos que conlleva su puesto de trabajo? Indique de 1 a 5 su valoración: 5. Es muy consciente de la peligrosidad de un laboratorio químico, sabe entender las fichas de seguridad de los productos utilizados y sabe tomar soluciones a la hora de detectar cualquier riesgo.
- Con respecto a las prácticas de higiene personal, ¿las tiene especialmente presentes en el trabajo diario? Indique su valoración de 1 a 5: 5. Es muy consciente de la importancia de lavarse siempre que se utilice cualquier producto químico.
- Cite cualquier otro factor de riesgo relacionado con las sustancias químicas que le preocupe: los derrames accidentales al realizar trasvases de productos químicos o los gases producidos por las muflas en el laboratorio, en concreto el monóxido de carbono del laboratorio. En el caso de los derrames accidentales, en este laboratorio existe un kit antiderrame para solucionar este problema, lo cual disminuye el riesgo.

Por otro lado, las concentraciones obtenidas en el laboratorio de las mediciones ambientales realizadas fueron las siguientes:

- Hexano: 65,16 mg/m<sup>3</sup>.
- Tolueno: menos de 0,96 mg/m<sup>3</sup>.
- Ácido acético: 0,56 mg/m<sup>3</sup>.

Estos resultados hay que ponderarlos a 8 horas antes de poder ser comparados frente a su VLA-ED:

$$ED = c \times T/8$$

$$ED_{hex} = 65,16 \times 0,5/8 = 4,07 \text{ mg/m}^3.$$

$$ED_{tol} = 0,96 \times 0,83/8 = 0,09 \text{ mg/m}^3.$$

$$ED_{aa} = 0,56 \times 0,83/8 = 0,05 \text{ mg/m}^3.$$

Una vez hemos ponderado los resultados obtenidos en el laboratorio, hay que compararlo con el valor límite ambiental de cada compuesto. En ninguno de los casos supera los valores límite ambiental de los compuestos.

VLA <sub>hex</sub> : 72 mg/m <sup>3</sup>	I = 4,07/72 = 0,056
VLA <sub>tol</sub> : 192 mg/m <sup>3</sup>	I = 0,09/192 = 0,000046
VLA <sub>aa</sub> : 25 mg/m <sup>3</sup>	I = 0,05/25 = 0,002

De hecho, al calcular  $I = ED/VLA-ED$ , se obtienen valores muy bajos, los cuales son menores de 0,1 y, por lo tanto, representan unos niveles de concentración de gases aceptables en el ambiente.

## 5. DISCUSIÓN Y MEDIDAS PREVENTIVAS

Siguiendo las ntp 987 y 988, hemos obtenido un IPMAQ de 1225. Dicho índice representa un laboratorio de peligrosidad media-baja, es decir, debido al uso de sustancias tan peligrosas diariamente, el personal está expuesto a varios riesgos. Pero gracias a la correcta ventilación, extracción y a la gran concienciación del uso de equipos de protección individual, dicho índice es menor del que cabría esperarse.

Por otro lado, respecto a la medición ambiental realizada, sabemos que innegablemente resultaría mejor poder medir directamente la concentración ambiental de anhídrido acético, pero los medios técnicos disponibles no lo permitieron. La medición aproximada se ha basado en que el anhídrido acético en un ambiente húmedo produce doble cantidad molar de ácido acético, que es la sustancia que finalmente se detectó con un filtro de carbón activo. Los 0,56 mg/m<sup>3</sup> de ácido acético equivalen a 0,48 mg/m<sup>3</sup> de anhídrido acético, es decir, una cantidad casi igual.



El laboratorio químico es un ambiente de trabajo en el cual hay que implantar una serie de medidas preventivas para que todos los estudiantes y trabajadores que trabajen en él, puedan hacerlo con total seguridad. Para ello, una medida preventiva sería implantar una serie de normas generales, las cuales deben comunicarse a todo el personal que se introduzca en esta área(40). Es decir, las personas que accedan a estas instalaciones para realizar algún tipo de tarea deben estar informadas sobre todas estas indicaciones, y, deberán firmar un consentimiento de que han sido informados para poder realizar operaciones en ellas.

Respecto a las normas relacionadas con los productos químicos, tenemos las siguientes:

- Reunir toda la información posible sobre la peligrosidad de los compuestos que se vayan a utilizar, y, también, de los peligros que puedan ocasionarse en las diferentes operaciones llevadas a cabo.
- Consultar las etiquetas y fichas de datos de seguridad de los compuestos químicos existentes.
- Además de seguir el protocolo de trabajo establecido previamente, antes de realizar cualquier actividad es importante reunir todos los compuestos y materiales necesarios.

Respecto a la manera correcta de manejar productos químicos, tenemos las siguientes normas:

- Ejecutar las operaciones con productos químicos de forma segura y siguiendo las instrucciones de forma responsable.
- Al finalizar algún experimento con productos químicos hay que recoger todo el material que se haya utilizado.
- Al trasvasar un compuesto químico es importante etiquetar el nuevo envase para su posible identificación y medidas de precaución adecuadas. No se deberá pegar una etiqueta sobre otra ya existente ya que esto puede llevar a confusiones.
- Si se sufren accidentes con productos químicos, es importante seguir las recomendaciones de seguridad establecidas en la etiqueta y ficha de seguridad de la sustancia química.
- Al realizar experimentos, hay que obtener la cantidad justa y necesaria de los compuestos químicos que se vayan a utilizar. Además, no hay que devolver el producto sobrante al envase original.
- Si se utilizan compuestos líquidos, no hay que pipetear succionando con la boca, sino con una bomba, émbolo o pera.

Respecto a la vestimenta adecuada para trabajar en un laboratorio químico, tenemos las siguientes normas:

- Llevar siempre la bata abrochada y el pelo recogido.
- No usar anillos, brazaletes. Es obligatorio usar ropa y calzado que cubra la mayor parte del cuerpo ante posibles derrames accidentales.

- Es importante utilizar el material de protección colectivo e individual adecuado para cada actividad. Lo más usual es disponer de bata, guantes y gafas de seguridad.
- Se aconseja no utilizar sólo lentillas como protección ocular al trabajar en laboratorios. Es mejor utilizar gafas de protección superpuestas o gafas de seguridad graduadas.

Respecto a la entrada y salida al laboratorio, tenemos las siguientes normas:

- Además de sólo depositar los materiales que se estén utilizando en ese mismo momento, el área de trabajo debe permanecer libre y despejada.
- La forma correcta de recorrer el laboratorio se basa en ir con precaución sin interrumpir a los que están trabajando.
- Los accesos y rutas deben estar señalizados, iluminados y despejados, permitiendo una evacuación rápida. Las personas que entren en el mismo deben conocer cuales son las rutas de evacuación.

Por otro lado, tenemos otro tipo de normas relacionadas con el almacenamiento, revisiones del material y gestión de residuos producidos en el laboratorio:

- Muy importante revisar varias veces el estado del material de vidrio utilizado en el laboratorio. Las piezas agrietadas se deben desechar y no se podrán calentar si han recibido algún golpe.
- En el almacenamiento de compuestos químicos hay que evitar juntar productos incompatibles, separándolos a través de barreras inertes, o bien, distanciándolos entre sí. No hay que guardar nada fuera de los armarios, ni por encima de la altura de la cabeza ni en zonas de paso.
- Los residuos producidos en el laboratorio se deben neutralizar de forma adecuada antes de su eliminación o deposición en las zonas establecidas para ello.
- Está prohibido comer, beber o fumar en el laboratorio. Tampoco se puede llevar objetos en la boca como chicles, palillos, etc.
- Es importante no guardar ningún material en los bolsillos. Además, los objetos personales no deberán colocarse en la mesa de trabajo, sino que deberá guardarse en zonas específicas para ello, como taquillas o armarios.



**Figura 12. Comportamientos erróneos al trabajar en un laboratorio químico**

<https://slideplayer.es/slide/2981657/>

Como ya hemos mencionado anteriormente, las operaciones llevadas a cabo en el laboratorio son muy variadas. Por lo tanto, es importante establecer una serie de medidas preventivas concretas para realizarlas todas y cada una de ellas con seguridad(41).

Debido a la gran manipulación de sustancias químicas en el laboratorio es muy importante tener en cuenta el etiquetado de los productos y tener a mano las fichas de datos de seguridad de cada compuesto existente. Por lo tanto, es importante conocer la peligrosidad que conlleva el uso de estas sustancias para detectar los riesgos y tomar las medidas adecuadas para evitarlos. Para conseguir este objetivo existe el Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos, que es una norma técnica internacional de criterios de clasificación, clases y categorías de peligro. Debido a la existencia de esta gran variedad de peligros es necesario el etiquetado de los productos químicos, cuyo formato es elegido por la autoridad laboral para la representación del contenido de la etiqueta. Los pictogramas de peligro, la palabra de advertencia y las indicaciones de peligro deben colocarse conjuntamente en la etiqueta (24).



**Figura 13. Pictogramas de peligro de productos químicos**

<http://trampantojocomunicacion.gomezdemiguel.com/pictogramas-de-peligro-ra4000008>

El etiquetado de las sustancias químicas presentes en el laboratorio debe presentar la siguiente información (24):

- Identificación del distribuidor.
- Identificación del producto químico.
- Pictogramas.
- Palabras de advertencia: representa el grado de peligro de forma breve y simplificada.
- Identificación de peligro: son frases para describir y determinar ciertos riesgos a través de la descripción de la clase y categoría de peligro (frases H).

- Consejos de prudencia: son medidas que se deben adoptar ante efectos adversos que pudiera causar el producto químico concreto (frases P).

Además del etiquetado, es muy importante tener a disposición de las personas que trabajan en el laboratorio, las fichas de datos de seguridad de cada producto químico presente. Estas fichas son unos documentos donde se informan de los datos necesarios para la protección de las personas y del medio ambiente. La normativa no describe el deber de utilizar un formato específico para las fichas de datos de seguridad, pero sí que establece ciertos puntos de información que deben presentar tales documentos. La responsabilidad inicial de la redacción de las fichas de datos de seguridad es del fabricante, es decir, del encargado de la suministración del producto químico específico(42).

1. Identificación de la sustancia y de sociedad/empresa: debe ser idéntica a la presente en la etiqueta del compuesto. Por otro lado, hay que detallar el responsable de la comercialización, su dirección y número de teléfono. También se especifica el uso recomendado del producto y sus restricciones, además de proporcionar un número de teléfono en caso de emergencia.
2. Identificación del peligro o peligros: clasificación del sistema armonizado de la sustancia/mezcla, se proporcionan los elementos de la etiqueta y se incluyen los consejos de prudencia.
3. Composición o información sobre los componentes: no hace falta detallar la composición completa pero sí es importante indicar la concentración o gama de concentración en los casos en los cuales se supere el límite de concentración establecido por la directiva 88/329/CEE. Además, se indica el nombre común de la sustancia o sinónimos, el número CAS, impurezas y aditivos etc.
4. Primeros auxilios: debe ser concisa y fácilmente comprensible por las personas las cuales necesiten leerlo. En este apartado se detalla el protocolo de actuación ante un accidente, los síntomas o efectos más importantes y la indicación de atención médica inmediata junto a tratamientos especiales según cada situación.
5. Medidas de lucha contra incendios: se detalla la forma de actuación ante incendios generados por la propia sustancia química o su alrededor, así como, los medios de extinción adecuados y el equipo de protección característico.
6. Medidas en caso de vertido accidental: en este apartado se especifican métodos de precaución individuales, de protección del medio ambiente y métodos de limpieza.
7. Manipulación y almacenamiento: en este apartado se describen las medidas necesarias para garantizar una manipulación y almacenamiento seguro. Además, se detallan las condiciones ambientales específicas para un entorno seguro.
8. Control de exposición y protección individual: se especifican las precauciones que debe tomar el personal del laboratorio para minimizar su exposición a los agentes químicos. Por otro lado, cuando sea necesaria la utilización de equipos de protección individual, se debe detallar el tipo de equipo que proporcione una protección respiratoria, manual, ocular y cutánea adecuada.

9. Propiedades físicas y químicas: se debe especificar el aspecto, olor, ph, punto de ebullición, punto de fusión, inflamabilidad, autoinflamabilidad, solubilidad, propiedades comburentes etc.
10. Estabilidad y reactividad: en este apartado hay que indicar la estabilidad de la sustancia, las condiciones físicas que deben evitarse, las materias que puedan provocar reacciones peligrosas, productos en descomposición peligrosos etc.
11. Información toxicológica: se detallan los efectos tóxicos de la sustancia estudiados a través de experimentos científicos. También se incluye información relacionada con las vías de exposición y los síntomas asociados.
12. Información ecotoxicológica: se determinan los efectos que tiene la sustancia química debido a su naturaleza. En este apartado se indica información sobre la movilidad, degradabilidad, acumulación y ecotoxicidad de la sustancia.
13. Consideraciones relativas a la eliminación: si la eliminación del compuesto conlleva la exposición a un peligro, hay que detallar los pasos específicos para evitarlo y para gestionar de manera correcta los residuos.
14. Informaciones relativas al transporte: se deben indicar las precauciones que debe conocer el transportista para la movilización de la sustancia dentro y fuera de las instalaciones.
15. Informaciones reglamentarias: se deben mencionar las directivas relacionadas con la clasificación, envasado y etiquetado de los compuestos.
16. Otras informaciones: se describen consejos relativos a la formación, usos recomendados y restricción, otro tipo de informaciones y fuentes de los principales datos utilizados en la ficha.

## SIGMA-ALDRICH

[sigma-aldrich.com](http://sigma-aldrich.com)

### Hoja Técnica de Seguridad del Material

Versión 3.4

Fecha de revisión 04/09/2013

Fecha de impresión 08/14/2013

#### 1. IDENTIFICACIÓN DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

Nombre del producto	: Benzoína
Referencia	: B8681
Marca	: Aldrich
Proveedor	: Sigma-Aldrich Química, S. de R.L. de C.V Parque Industrial Toluca 2000 Calle 6 Norte No. 107 50200 TOLUCA MEXICO
Teléfono	: +52 (0)1-800-007-5300
Fax	: +52 (0)1-800-712-9920
Teléfono de Urgencia (Tanto para el proveedor como para el fabricante)	:
Información suministrada por	: Sigma-Aldrich Corporation Product Safety - Americas Region

**Figura 14. Ficha de datos de seguridad de productos químicos**  
<https://es.slideshare.net/xiuhts/benzoina>

En función del agente químico utilizado hay diferentes criterios de implantación de medidas preventivas(41):

- Para agentes químicos sensibilizantes, cancerígenos, mutágenos o tóxicos para la reproducción, hay que intentar disminuir el riesgo al mínimo posible ya que son compuestos a los que estar expuesto nunca es seguro para la salud. Una manera para establecer una medida preventiva, se basa en realizar una vigilancia de la salud a las personas expuestas ante este tipo de compuestos.
- Para agentes cuyo valor límite ambiental ha sido instaurado para evitar irritaciones leves, molestias o cualquier otro efecto leve, no es necesario implantar medidas preventivas.
- Para el resto de agentes hay que realizar una medición, y, si la exposición representativa es mayor que el 10% del VLA específico, se deben tomar medidas de precaución las cuales dependen de:
  - La magnitud de la exposición, la naturaleza y la gravedad de los daños.
  - La posibilidad y eficacia previsible del control ambiental periódico de la exposición y vigilancia de la salud.
  - Las dificultades técnico económicas para poder implantar la medida preventiva.

Siempre que exista manipulación de compuestos químicos peligrosos, la principal medida preventiva que hay que tomar es la erradicación total del agente químico a través de la sustitución por otro compuesto que no sea peligroso o que entrañe un menor peligro. Hay veces que no se puede sustituir el compuesto químico utilizado, y, por lo tanto, la acción preventiva a establecer debe basarse en reducir los riesgos asociados a su presencia(41).

- Concepción y organización de los sistemas de trabajo en el lugar de trabajo: cualquier actividad en la que se manipulen productos químicos, debe realizarse en locales bien ventilados.
- Selección e instalación de los equipos de trabajo: se debe elegir correctamente el material de construcción de las instalaciones y equipos, disminuir las diferencias entre máximos y mínimos de presión y temperatura, disminuir las tensiones debido a cargas específicas o vibraciones, mantener los equipos e instalaciones totalmente herméticos, seleccionar los equipos de trabajo según los agentes químicos que se vayan a manipular etc.
- Establecimiento de los procedimientos adecuados para el uso y mantenimiento de los equipos utilizados para trabajar con agentes químicos: un procedimiento de trabajo bien concebido es la forma de evitar exposiciones a agentes químicos innecesarias. Por ejemplo, ante una operación casual que genere contaminación ambiental, se recomienda dar instrucciones de trabajo, las cuales especifiquen que en el momento de realizar la actividad casual no debe haber nadie en la instalación.
- Adopción de medidas higiénicas adecuadas: es muy importante implantar un protocolo de buena higiene personal ya que es una manera de contribuir a eliminar los riesgos existentes. En este protocolo se establecerían las pautas para lavarse

correctamente las manos, el tipo de jabón más indicado para lavarse, los momentos en los que habría que limpiarse las manos, la frecuencia... Por otro lado, la limpieza es una medida preventiva básica y debe implantarse correctamente a la hora de limpiar suelos, techos y paredes de las instalaciones, de tal forma que exista una protección ante posibles derrames y fugas. Al igual hay que mantener una correcta limpieza de las instalaciones, es importante establecer unos mínimos de limpieza de la ropa de trabajo de los laboratorios (batas, etc).

- Disminución de la cantidad de compuestos químicos utilizados en el laboratorio, además de reducir al mínimo las personas expuestas a tales agentes y el tiempo de exposición.

## **5.1 Medidas preventivas frente a riesgos expuestos en el uso de aparatos de laboratorio**

No solo es importante implantar una serie de medidas preventivas en función de las actividades u operaciones que se llevan a cabo en los laboratorios de docencia química, sino también en función de los instrumentos y aparatos frecuentemente utilizados (5).

Sistema de ventilación del laboratorio:

- La ventilación del laboratorio debe ser eficaz.
- Ajustar el laboratorio en depresión respecto a zonas colindantes.
- Ajustar la circulación del aire de la zona menos contaminada a la más contaminada.
- Utilización de vitrinas.
- Ventilación de emergencia.

Frigoríficos:

- Dar instrucciones de trabajo para no almacenar recipientes abiertos o mal tapados.
- Introducir recipientes resistentes a la sobrepresión.
- Controlar la temperatura del interior.

Aparatos con llama:

- Aislar la llama o el compuesto inflamable manipulado en operaciones de laboratorio.
- Sustituir los aparatos con llamas por baños calientes al calentar líquidos inflamables, ya que son instrumentos que funcionan en un rango de temperaturas inferiores.
- Los equipos deben presentar dispositivos de seguridad que puedan parar la emanación de gases en casos de anomalía.
- Mantenimiento periódico y adecuado de la instalación de gas.

Baños calientes:

- Dar instrucciones de trabajo que informen sobre evitar el llenado hasta el borde.

- Proporcionar estabilidad al instrumento a través del uso de soportes.
- Dar instrucciones de trabajo que especifiquen claramente que no se deben introducir materiales de vidrio.
- Disponer de un termostato para controlar la temperatura.
- Disponer de extracción localizada en casos de utilización frecuente y continuada.
- Revisiones periódicas y mantenimiento preventivo en casos de que sean instrumentos viejos.

#### Baños fríos:

- Dar instrucciones de trabajo que indiquen que no se deben introducir las manos sin guantes protectores en baños fríos.
- Proporcionar guantes térmicos al utilizar este tipo de aparatos.
- Dar una instrucción de trabajo en la cual se indique que hay que introducir de manera paulatina y lenta los recipientes. De esta forma, evitamos la ebullición brusca del refrigerante.

#### Refrigerantes:

- En el uso de refrigerantes es preferible disponer de un sistema de seguridad que interrumpa el aporte de calor en casos de corte de suministro de agua.
- Asegurar que los tubos se encuentran correctamente sujetos y renovarlos periódicamente

#### Estufas:

- En el caso de usar estufas para evaporación de líquidos volátiles es aconsejable tener un sistema de extracción y retención por filtrado.
- Las estufas deben presentar sistemas de seguridad que controlen las temperaturas.
- Realizar revisiones periódicas de tal forma que haya un mantenimiento adecuado en el que se compruebe que no existen fugas.

#### Centrífugas:

- Dar instrucciones de trabajo en las cuales se indiquen que hay que repartir la carga de forma simétrica.
- Estos instrumentos deben presentar un sistema de seguridad que evite ponerse en marcha en los casos en los que la tapa no se encuentre cerrada.
- Establecer un proceso de actuación en caso de roturas o producción de bioaerosoles.

#### Botellas de gases:

- Establecer un plan de actuación en caso de posibles fugas o incendios. Dicho plan de actuación debe estar basado en las siguientes pautas:
  - Normalmente, las fugas se detectan a través de la detección de olores característicos. En el momento en el cual el personal detecte cierto olor



diferente, debe cerrar la llave general de paso de gas (si es que cuenta con llave propia).

- Es importante ventilar la habitación en la cual se encuentra la instalación de botellas de gases.
  - No hay que accionar nunca ningún aparato o interruptor que pueda provocar un chispazo, o bien, encender fuego.
  - Si es necesario, abandonar el laboratorio.
  - Llamar a los bomberos una vez evacuado el laboratorio.
  - Informar a la distribuidora del escape.
- Es importante dar las instrucciones de precaución necesarias según el tipo de gas que se utilice.

#### Material de vidrio:

- Comprobar el estado del material de vidrio antes de usarlo.
- No dejar dicho material en el borde de las poyatas. Para ello es recomendable utilizar soportes específicos para evitar caídas.
- Disponer de recipientes para tirar material de vidrio roto para su gestión como residuo
- Uso del material más adecuado en función de las condiciones físicas a las que se vaya a someter el material (presión y temperatura).
- Introducir los matraces de reacción en los baños antes de calentar el líquido.
- Siempre que se vaya a calentar un recipiente es importante no taponar la boca ya que la presión interna es capaz de romperlo.
- Mantener la precaución al utilizar este tipo de material. Utilizar tubos de goma y abrazaderas si se necesitan unir diferentes piezas(43).
- Dar instrucciones de trabajo en las cuales se indique la prohibición de pipetear con la boca(5).
- Dar instrucciones de trabajo para establecer la obligatoriedad de usar guantes al realizar operaciones con pipetas.
- Proporcionar bombas de aspiración manual de caucho para que se adapten bien a las pipetas con las que se vaya a operar.

#### Autoclave:

- Es importante presentar toda la documentación que acredite la resistencia a la presión a la cual pueda trabajar.
- Disponer de un manómetro.
- Delimitar y colocar el autoclave en zonas preparadas para posibles riesgos de explosión.
- Dar instrucciones de trabajo sobre el aumento de presión de este instrumento. Dicho aumento de presión debe ser de forma paulatina.

#### Cromatógrafo de gases:

- Es importante tener un sistema de ventilación acorde a la actividad realizada.

- Proporcionar guantes resistentes al calor.
- Revisiones periódicas y adecuadas.

HPLC:

- Dar instrucciones de trabajo de la forma correcta del uso de eluyentes, además de proporcionar guantes de protección en operaciones de trasvases.
- Obligatoriedad de utilización de material de vidrio resistente durante el tratamiento previo del eluyente.

Espectrofotómetro de absorción atómica:

- Dar instrucciones de trabajo donde se indique que las digestiones ácidas se deben realizar en vitrina.
- Proporcionar guantes, gafas y EPIs adecuados a la actividad.
- Disponer de un sistema de extracción localizado sobre la llama u horno de grafito.
- Disponer de un buen sistema de ventilación general.
- Ante posibles fugas de gas de acetileno es importante tener unas pausas de actuación o de control(44):
  - Es importante utilizar únicamente reguladores y conectores aprobados.
  - Cerciorarse de que todos los conectores de gas y conductos se encuentran correctamente montados.
  - Disponer de tubos de gas que no se dañen, pisen o puedan caer cosas encima.
  - No utilizar nunca tubos deshilachados o dañados.
  - Realizar revisiones de prueba de fuga antes de utilizar el instrumento.

## **5.2 Medidas preventivas frente a actividades realizadas en el laboratorio**

En un laboratorio, no solo se manipulan compuestos químicos, sino que existen otras actividades o funciones, las cuales entrañan otros riesgos, como por ejemplo el trasvase de compuestos químicos.

### **5.2.1 Medidas preventivas en operaciones básicas de laboratorio**

Las medidas preventivas que se deben establecer para realizar un correcto trasvase de productos químicos son las siguientes(41):

- Siempre que sea posible esta actividad es importante realizarla en instalaciones fijas, de tal forma que se pueda reducir el número de operaciones manuales al menor posible.
- Se debe evitar realizar trasvases por vertido libre.
- Siempre que se trasvase un compuesto a un recipiente nuevo, es importante etiquetarlo correctamente.

- Existe la posibilidad de realizar trasvases por gravedad desde recipientes, siempre que tales elementos se encuentren fijos y presenten un grifo y un sistema de drenaje ante posibles fugas o derrames.
- El trasvase de recipientes de boca estrecha se debe realizar con embudo.
- Es importante disponer de un sistema de visualización en el recipiente, de tal forma que al realizar la operación se pueda saber cuándo se está completando la carga del recipiente.
- Al realizar este tipo de operaciones es importante llevar la protección dérmica específica ante posibles derrames o salpicaduras. Además de protección dérmica, según los productos utilizados tal vez sea necesario el uso de protección ocular, como una pantalla facial o unas gafas panorámicas. Más adelante se especificarán los equipos de protección individual más usuales en los laboratorios químicos.
- En las proximidades de estas instalaciones es importante la disposición de duchas de emergencia y fuentes lavaojos.

En operaciones con vacío, si queremos controlar los riesgos es necesario tomar ciertas medidas preventivas (22):

- Utilizar recipientes de vidrio concretos que sean capaces de resistir el vacío, además de colocar tales recipientes en zonas donde se evite el riesgo de choque mecánico.
- Tapar con cinta adhesiva el recipiente en depresión.
- Llevar camisa de seguridad durante el proceso.
- La transición de vacío a presión atmosférica es obligatoria realizarla de forma lenta y paulatina.
- Si el recipiente tiene alguna sustancia capaz de reaccionar con agua, y, hay posibilidad de retorno de agua al recipiente donde se hace el vacío, es aconsejable cerrar el grifo y disponer de un recipiente de seguridad.

En operaciones de mezcla de productos químicos hay que disponer de unas pautas de actuación. Además, sería interesante disponer de la máxima información posible sobre los productos químicos que se vayan a manipular. Para ello, se necesitaría revisar el etiquetado de los productos que se vayan a utilizar, los protocolos existentes de cómo realizar la mezcla o el experimento, y, finalmente, disponer y revisar las fichas de datos de seguridad de cada sustancia (22).

Por otro lado, las reacciones químicas posibles, también son una fuente de peligro en el laboratorio. Para controlar este riesgo se recomienda utilizar la mínima cantidad de reactivos para evitar que las sustancias reaccionen de forma muy rápida. Otro factor a tener en cuenta es la temperatura, la cual hay que controlarla con un termostato y establecer ciertos límites que no se deban sobrepasar. Para todo esto, sería importante la definición de diversos protocolos o instrucciones de actuación (22).

Como ya hemos comentado previamente, la extracción con disolventes volátiles es un proceso que entraña ciertos riesgos. Según el tipo de extracción que se lleve a cabo, tenemos diferentes formas de controlar los riesgos(22):

- Extracción en caliente: realizar el calentamiento del sistema de extracción en un baño de aceite sin superar la temperatura necesaria. Este proceso debe ser realizado en vitrina, es importante tener un sistema de actuación ante incendios cerca del lugar de la operación y disponer de un sistema de control de agua de refrigeración cuando la extracción sea demasiado larga.
- Extracción líquido-líquido: además de realizar dicha actividad en vitrina, se aconseja llevar guantes impermeables y ropa de protección.
- Extracción sólido-líquido: esta actividad presenta pocos problemas porque en este proceso se utiliza poca cantidad de muestra, y, además, es un proceso que puede ser automatizado.

Otros procesos de laboratorio, como la destilación, presentan otras medidas de prevención(22):

- Se debe utilizar un aparato que debe encontrarse adaptado a las cantidades y características de los productos a destilar.
- Es posible que el experimento libere sustancias tóxicas, y, por lo tanto, sería aconsejable que se realizaran las operaciones en vitrina y con protecciones personales.
- Cuando la muestra se calienta, se debe hacer en mantas calefactoras, las cuales deben encontrarse sobre sistemas móviles elevadores. Así, se permite el cese rápido de proporción de calor en caso de necesidad.
- En caso de utilizar productos inflamables, se aconseja guardarlos en recipientes de metal, de tal forma que disminuya el riesgo de rotura.
- Revisar siempre el material y la estanqueidad del montaje antes de utilizarlo para evitar cualquier tipo de fuga o derrame.
- Disponer de elementos capaces de controlar la temperatura.

Al realizar operaciones de evaporación y secado, se recomiendan las siguientes medidas de prevención(22):

- Realizar la operación en el interior de una vitrina o utilizar un evaporador rotatorio.
- Si se realiza a través de una estufa la aportación de calor, deberá utilizarse una que se encuentre ventilada. Además, dicha estufa debe presentar un sistema de aspiración de vapores y se debe trabajar siempre a temperaturas moderada.
- Se aconseja realizar la evaporación de un producto empapado de un líquido volátil en frío.

En operaciones de desecación de líquidos existen otras medidas preventivas según el producto utilizado para el experimento(22):

- Perclorato de magnesio: se aconseja cambiar este compuesto por pentóxido de potasio para evitar el posible riesgo de explosión.
- Sodio: debido al posible riesgo de inflamación que se puede producir al generar hidrógeno, se aconseja evitar sobrepresiones y realizar las operaciones fuera de focos de calor.

Además de todo lo anterior, en el laboratorio se realizan operaciones de limpieza de materiales de vidrio. Durante estas operaciones, el material se suele limpiar con acetona. Las medidas preventivas que más concuerdan son la formación e información del personal responsable de llevar a cabo la limpieza y disponer de la ventilación adecuada. Dependiendo de qué sustancias se utilicen en esta actividad, se aconseja lo siguiente (22):

- Acetona: disponer del sistema de ventilación adecuado y los sistemas de extracción específicos además de llevar los equipos de protección individual (guantes al realizar limpieza de materiales de vidrio).
- Mezcla crómica: se aconseja sustituir por permanganato potásico ya que los peligros asociados a su utilización son menores.
- Metanol: se aconseja intercambiar esta sustancia por isopropanol, ya que es un producto menos tóxico.

Por otro lado, otra operación importante en estas instalaciones es el transporte de compuestos químicos. Esta actividad conlleva ciertos riesgos ya mencionados anteriormente que deben ser controlados a través de ciertas soluciones:

- Dar instrucciones de trabajo dónde se prohíba transportar recipientes que están bajo vacío.
- Disponer contenedores especiales para vidrios.
- Cuando se transporten varios recipientes o compuestos en grandes cantidades se debe disponer de carros especiales, de tal forma que estén protegidos de choques y roturas.

### **5.1.2 Medidas preventivas en el almacenamiento de productos químicos**

Además del trasvase, existen ciertas medidas preventivas para tener un almacenamiento seguro de productos químicos(41)(45):

- Se debe disponer de una zona especial para el almacenamiento de agentes químicos separada del propio laboratorio.
- Es aconsejable establecer un plan de almacenamiento, el cual pueda servir en caso de derrame o fuga. Este plan debe permitir conocer todos los compuestos químicos almacenados, la cantidad existente y máxima, localización y regiones del almacén clasificadas por diferentes tipos de compuestos químicos etc. En este plan también deben de indicarse ciertas pautas:
  - Mantener las puertas siempre libres.
  - Señalar las vías de tránsito.

- Apilar productos hasta una altura mínima.
  - Ante posibles derrames debe existir un kit compuesto por productos adsorbentes y neutralizantes.
  - La limpieza debe ser realizada por medio de aspiración y evitar barrer en seco.
  - Ante posibles incendios es necesario tener equipos de protección personal y extintores.
- Implantar una ubicación física del almacén lejos de áreas de proceso u otras actividades del laboratorio que puedan aumentar diferentes riesgos.
  - Establecer grupos de productos según los riesgos que conlleve cada sustancia química. No se deben juntar productos incompatibles, como por ejemplo una sustancia inflamable con un compuesto comburente, o una sustancia inflamable con un compuesto reductor. Otros ejemplos de compuestos incompatibles son los siguientes.
    - Oxidantes con inflamables, carburos, nitruros, hidruros, sulfuros.
    - Reductores con nitratos, cloratos, bromatos.
    - Ácidos inorgánicos fuertes con bases fuertes, agua, cianuros.
    - Bases inorgánicas fuertes con ácidos fuertes, agua, fósforo.
    - Ácido sulfúrico con celulosa, ácido perclórico, permanganato potásico, cloratos.
    - Agua con compuestos como boranos, anhídridos, haluros, haluros de ácido, isocianatos, metales alcalinos.
    - Oxidantes con reductores como el ácido nítrico con materias inflamables, carburos, nitruros, hidruros, sulfuros etc.
    - Sustancias inestables como sales de diazonio que son peroxidables.
  - Utilizar armarios especiales para los productos corrosivos.
  - Utilizar frigoríficos antideflagrantes para compuestos inflamables muy volátiles.
  - No guardar las sustancias químicas y líquidos en recipientes abiertos.
  - Colocar los recipientes de poca capacidad de sustancias corrosivas separadas entre sí con bandejas y cubetas de retención que puedan evitar los derrames por fugas o roturas.
  - Utilizar recipientes de vidrio solo para cantidades bajas de productos químicos.
  - Conservar los recipientes de plástico en zonas protegidas del sol o de las bajas temperaturas.
  - Implantar unos volúmenes máximos de compuestos almacenados al igual que alturas máximas de almacenamiento (NTP 725).

Líquidos inflamables y combustibles	Líquidos corrosivos	Líquidos tóxicos <sup>a) b) c)</sup> Cantidad total almacenada <600 L
≤ 50 L clase B	≤ 200 L clase a	
≤ 250 L clase C	≤ 400 L clase b	≤ 50 L clase T+
≤ 1000 L clase D	≤ 1000 L clase c	≤ 150 L clase T
a. En ningún caso la suma de los cocientes entre las cantidades almacenadas y permitidas para cada clase superará el valor de 1. b. La capacidad máxima unitaria de los envases en los almacenamientos exentos no podrá superar los 2 L para la clase T+ y los 5 L para la clase T. c. En las instalaciones excluidas se seguirán las medias de seguridad establecidas por el fabricante de los líquidos tóxicos que entregará la correspondiente documentación		

**Figura 15. Volúmenes máximos para el almacenamiento de productos químicos NTP 725**

- Todos los recipientes de las sustancias químicas deben estar homologados.
- Las secciones en las cuales se almacenan productos químicos deben estar libres de obstáculos y los accesos deben permanecer despejados.
- Deben existir vías de evacuación de emergencia, las cuales deben estar correctamente señalizadas.
- Todos los compuestos químicos deben estar correctamente etiquetados.
- Los almacenes deben estar correctamente ventilados, de tal forma que se evite la generación de ambientes tóxicos o de concentraciones peligrosas.
- También es importante la existencia de un plan en caso de emergencia, el cual debe tener en cuenta las diferentes emergencias que podrían generarse y la forma concreta de controlar cada situación específica. Por ejemplo, ante un incendio causado por unas condiciones de almacenamiento deficientes, habría que especificar cuál es la manera más correcta de actuación, los medios de protección a utilizar, los planes de evacuación de la instalación, el teléfono de emergencias, qué personas del laboratorio forman el equipo de incendios y emergencias...

### 5.1.3 Medidas preventivas en la gestión de residuos

En el caso de las operaciones realizadas en relación con la gestión de residuos, es importante tratar de aplicar diferentes medidas de prevención(29):

- Es recomendable tener un inventario de todos los residuos.
- Es recomendable establecer formas de trabajo en las cuales se definan grupos de residuos en base a sus propiedades fisicoquímicas, incompatibilidades, riesgos y eliminación posterior.
- Se recomienda implantar un sistema de compras en el cual se intente tener un stock mínimo de residuos, de tal forma que se disminuya la cantidad de residuos almacenados.
- Establecer una forma de recogida de ciertos residuos en función de los grupos establecidos, con provisión de contenedores adecuados a las características de los residuos e identificación y etiquetado de todos los envases y contenedores que vayan a ser utilizados.

- Proporcionar información y formación al personal del laboratorio sobre la existencia de un plan de gestión de residuos.
- Si es posible externalizar el proceso a empresas especializadas para la recogida, el tratamiento y la eliminación de productos que no puedan ser tratados en el mismo laboratorio.
- Adaptarse a las exigencias de la Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados, del Reglamento 1357/2014 y de las directivas 2006/12/CE y 2008/98/CE.

Medidas preventivas ante otros riesgos higiénicos:

- Ante la exposición al ruido, se debe llevar protección acústica cuando el nivel de ruido sea superior a 85 decibelios. También es importante señalar las áreas de excesivo ruido con símbolos y señales específicas que indiquen la necesidad de protección acústica. Existen dos tipos de protección acústica denominados tapones y auriculares(31). Normalmente, en los laboratorios químicos no se genera un nivel de ruido tan alto que implique portar tales protectores auditivos, pero sí es recomendable establecer ciertas medidas preventivas. Para disminuir la exposición a este agente, se recomienda reducir la técnica del ruido, utilizar otros métodos de trabajo que disminuyan la necesidad de exponerse al ruido, elegir equipos de trabajo adecuados, información y formación al personal del laboratorio, colocar pantallas o aislar ciertas actividades que generen niveles más altos de ruido, mantenimiento adecuado de los equipos de trabajo, organización del tiempo de trabajo etc.
- Ante la exposición a vibraciones mano-brazo, se aconsejan diferentes medidas preventivas, como la proporción de información al personal acerca de la exposición a tal riesgo, la formación de los trabajadores sobre el uso correcto de los instrumentos que transmiten vibraciones, el mantenimiento adecuado de los instrumentos, proporcionar guantes antivibratorios(32) etc.

### **5.3 Equipos de protección individual (EPIs)**

Ante la exposición a tantos riesgos en este tipo de instalaciones, también se aconseja que cada persona lleve cierta protección. Debido a que se realizan operaciones variadas de corta duración, a veces, es difícil la implantación de medidas de protección colectiva, y, por lo tanto, se intentan implantar equipos de protección individual. Dichos equipos de protección individual se clasifican en función de la parte del cuerpo que se encargan de proteger (46):

- Protectores de ojos y cara.
- Protectores de la piel.
- Protectores de manos y brazos.
- Protectores de las vías respiratorias.



- Protectores de oído.
- Protectores de las piernas.
- Protectores de tronco y abdomen.
- Protectores de la totalidad del cuerpo.

### 5.3.1 Protectores de ojos y cara:

Estos equipos normalmente protegen la cara y los ojos de riesgos generados por proyecciones de partículas, líquidos y exposición a radiaciones ópticas. Dentro de este grupo tenemos (46):

- Pantallas: estos instrumentos son capaces de proteger la cara además de los ojos. Normalmente el tipo de pantallas más usualmente utilizadas en el laboratorio son las pantallas faciales, las cuales pueden portar visores de plástico, aluminio o de malla metálica. Las pantallas faciales que sean utilizadas para protegerse de la exposición a radiaciones deben presentar visores filtrantes.
- Gafas: su función principal es proteger los ojos del trabajador, debido a este hecho, es necesario que presenten una montura, un diseño y una resistencia adecuados a los riesgos expuestos. Existen casos en los cuales hay personas que deben llevarlas de forma continuada, y, por lo tanto, si tienen miopía, deben graduarlas adecuadamente para poder trabajar con ellas. Por otro lado, las gafas de protección se clasifican en los siguientes tipos según su montura:
  1. Gafas tipo universal.
  2. Gafas de tipo copa o cazoleta.
  3. Gafas integrales.



**Figura 16. Pantalla de protección de agentes químicos para la cara y los ojos**  
<http://www.medicalexpo.es/prod/conns-cience-llc/product-113238-787427.html>



**Figura 17. Gafas de seguridad universales utilizadas normalmente en el laboratorio**  
<https://www.adilropadetrabajo.com/blog/2017/11/gafas-proteccion-laboral-necesitas-saber-sobre-ellas/>

### 5.3.2 Protección de la piel:

Debido a la manipulación de agentes químicos, si queremos impedir el contacto con tales agentes, es necesario la utilización de guantes, ya que las manos son las principales extremidades que entran en contacto con los productos. Los guantes son fabricados con diversos materiales según el peligro que conlleve cada compuesto

utilizado. No solo es importante que sean resistentes mecánicamente, sino también deben ser impermeables frente a los compuestos químicos específicos que estemos utilizando. Por lo tanto, es esencial saber muy bien de qué tipo de compuestos nos estamos protegiendo a la hora de elegir un guante(46).



**Figura 18. Guantes de nitrilo utilizados en el laboratorio**  
<https://www.adilropadetrabajo.com/gafas-ligeras-faru-c81>

Existen diversos tipos de guantes de protección química según el material del cual estén fabricados(47):

- Guantes de látex: son guantes formados por un material el cual se caracteriza por su gran resistencia al corte, sensibilidad, bajo coste y aislamiento. Normalmente proporciona una gran protección frente a bases, alcoholes y soluciones diluidas en agua. Por otro lado, el uso de estos guantes presenta ciertas desventajas, como el aumento de la posibilidad de desarrollar alergias y su baja resistencia a aceites, grasas y compuestos químicos orgánicos.
- Guantes de neopreno: son guantes formados por un material muy flexible y resistentes a las sustancias grasas, ácidas y cáusticas. Sin embargo, presentan una menor resistencia a los enganches, cortes y pinchazos que los guantes de nitrilo o látex.
- Guantes de PVC: guantes formados por un material el cual proporciona una gran flexibilidad y una gran resistencia a la abrasión. Además, presentan pocas posibilidades de desarrollar alergias y proporcionan una gran protección frente a ácidos fuertes, sustancias causticas, álcalis, bases y alcoholes
- Guantes de nitrilo: guantes formados por un material el cual les proporciona propiedades físicas relacionadas con la resistencia a los enganches, pinchazos y abrasiones. Además, este material ofrece una excelente protección frente a bases, aceites, combustibles, ésteres y grasas animales. Es un material más rígido que el PVC o el látex y su uso no es recomendado frente a cetonas y solventes orgánicos.
- Guantes de PVA: guantes formados por un material que presenta buenas propiedades de resistencia a los cortes, pinchazos, abrasiones y enganches. Además, este material presenta una buena protección frente a alifáticos, aromáticos, solventes clorados, ésteres y la mayor parte de las cetonas. Sin embargo, el PVA es frágil cuando se

encuentra expuesto al agua, alcoholes ligeros o la mayoría de las soluciones diluidas en agua.

- Otros guantes de butilo, viton o mezclas de materiales como el látex natural, nitrilo y neopreno.

### **5.3.3 Protección de las vías respiratorias:**

Este tipo de equipos de protección que el contaminante se pueda introducir en las vías respiratorias del individuo. Existen, por un lado, los equipos dependientes del medio ambiente, y, por otro lado, los equipos independientes del medio ambiente(46).

- Equipos dependientes: son instrumentos que introducen aire del ambiente, y, tras esto, lo purifican. Es importante tener en cuenta que estos equipos de trabajo no pueden ser utilizados cuando las concentraciones de contaminante son demasiado altas o la concentración de oxígeno es demasiado baja. Estos instrumentos están compuestos por dos partes:

1. Filtro:

- Filtro mecánico: este tipo de filtros frenan el agente contaminante a través de un impedimento mecánico. Sobretudo es utilizado para polvo, humo y aerosoles.
- Filtro químico: este tipo de filtros se encuentran impregnados de una sustancia que reacciona con el contaminante, y, de esta forma el contaminante es retenido en el filtro.
- Filtros mixtos: combinación de los dos anteriores descritos.

2. Adaptador facial: proporciona un entorno cerrado cerca de las vías respiratorias

- Máscara: cubre la boca, la nariz y los ojos. Sobretudo suele ser utilizado en el caso de que el compuesto al que se esté expuesto sea irritante.
- Mascarilla: cubre la nariz y la boca.
- Boquilla: la boca y el filtro se encuentran conectados, además de presentar un sistema que impide la entrada de aire no filtrado por la nariz.

- Equipos independientes: son instrumentos caracterizados por proporcionar aire que no procede del ambiente laboral. Este tipo de aparatos pueden ser semiautónomos o autónomos.

1. Semiautónomos: aquellos equipos que utilizan aire distinto al de trabajo, el cual es transmitido por medio de un canal o recipientes a presión no portátiles. Normalmente, este tipo de instrumentos son utilizados cuando el ambiente está contaminado de altas cantidades de sustancia nociva o baja cantidad de oxígeno.

2. Autónomos: en este caso, el aparato que transmite aire es transportado por la propia persona que lo lleva. Normalmente, este tipo de instrumentos es utilizado en casos donde el aire es imposible de respirar y es necesaria una autonomía y una libertad de movimientos.



**Figura 19. Máscara integral filtrante utilizada en laboratorios**  
<https://www.directindustry.es/prod/dpi-srl/product-166426-2008721.html>

Debido a esta gran variedad de utilización de equipos de protección individual, es importante establecer una correcta gestión. En el momento en el que tenemos que elegir uno de estos equipos, hay que tener en cuenta el grado necesario de protección que requiere cada situación de riesgo, además de cumplir las exigencias ergonómicas y de salud de la persona que lo porte. Una vez seleccionamos el tipo de equipo de protección individual que se necesita elegir de todos los anteriores mencionados, es importante observar las diferentes opciones que ofrece el mercado. Es decir, necesitamos elegir el equipo más idóneo, que sea de buena calidad y que se ajuste a las exigencias descritas por el real decreto 1407/1992(48).

El proveedor que proporcione los equipos de protección individual debe entregar un folleto informativo sobre la correcta manipulación del equipo y su conservación concreta. Por lo tanto, las personas que se encuentren en el laboratorio, deberán ser informadas de todo esto nada más los obtengan. De hecho, se debe organizar una normativa interna sobre el uso correcto de toda la equipación, en la cual se contemplen los siguientes puntos(48):

- Lugares o tipo de actividades en las que se necesite su utilización.
- Instrucciones de uso correcto.
- Especificaciones de las limitaciones de uso.
- Documentación de almacenamiento.
- Documentación del proceso de limpieza.
- Documentación de conservación de los equipos.
- Especificaciones de la fecha de caducidad de los equipos de protección o de alguno de sus elementos.
- Presentar un stock mínimo almacenado para que no existan personas que se queden sin estos equipos.

- Documento entregado al personal donde se especifica el número y tipo de protectores individuales disponibles en el laboratorio, además de los entregados personalmente.

Por otro lado, también es importante determinar si dichos equipos van a ser utilizados por varias personas o no. En el caso de ser utilizadas por varios usuarios, perderían la denominación de equipos de protección individual, y, pasarían a ser simples equipos de protección (los equipos de protección individual deben ser necesariamente personales). Es decir, es necesario determinar estos tres puntos(48):

1. Desechables: como por ejemplo los guantes de látex.
2. Reutilizables de asignación personal: gafas, mascarillas autofiltrantes y batas.
3. Reutilizables e intercambiables: delantales, mandiles, pantallas faciales, guantes para el frío, para el calor...Se supone que la utilización de estos equipos por varios individuos no supone un riesgo para la salud.

## 6. CONCLUSIONES

- El laboratorio de docencia química presenta muchos riesgos de diversa naturaleza. Por ello, una buena forma de garantizar un entorno seguro es la comunicación al personal de las normas básicas de seguridad, las cuales deben ser cumplidas siempre.
- Los riesgos de los laboratorios de docencia química, no solo existen por la existencia de productos químicos, sino también por los aparatos presentes y las operaciones realizadas en dichas instalaciones.
- El método para evaluar la peligrosidad de un laboratorio a través de las ntp 987 y 988, es un buen método para detectar cómo de protegido se encuentra un laboratorio frente a los riesgos existentes. En nuestro caso, el índice de peligrosidad (IPMAQ) obtenido se encuentra en un rango medio-bajo de peligrosidad, lo cual es un buen resultado.
- Las mediciones de gases son muy útiles para calificar cómo de sano es el ambiente del laboratorio. En nuestro caso, las concentraciones de tolueno, hexano y ácido acético eran muy bajas, lo cual muestra un entorno seguro para trabajar.
- Además de saber qué tipo de sustancias se manipulan en los laboratorios, es muy importante que el personal de laboratorio lleve los equipos de protección individual siempre (gafas, guantes, máscaras etc).

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Tipos de laboratorio - ¿Cuáles son? Disponible en: <https://www.clasificacionde.org/tipos-de-laboratorio/>
2. Los diferentes tipos de laboratorio Disponible en: <https://prezi.com/8nejvvpajq48/los-tipos-de-laboratorios/>
3. Ralac V. El Laboratorio Químico. Disponible en:

- <https://www.monografias.com/trabajos99/laboratorio-quimico/laboratorio-quimico.shtml#laborator>
4. Gutiérrez FS, Solá XG, Hidalgo PE. NTP 987: Laboratorios químicos : clasificación y estimación de su peligrosidad (I). 2013;1-6 (INSHT).
  5. Farrás MGR, Solá XG, Gadea Carrera E. NTP 433 : Prevención del riesgo en el laboratorio . Instalaciones , material de laboratorio y equipos. 1994;7(INSHT).
  6. Heras C, Guardino X. NTP 373: La Ventilación General en el Laboratorio. 1993;6 (INSHT).
  7. Portal de Contenidos Educativos de Química General y Laboratorio Químico. Refrigerador de Laboratorio. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/refrigerador-de-laboratorio.html>
  8. Instituto de investigación Hospital Universitario La Paz (IdiPaz). Aparatos Con Llama. 2015;1-5.
  9. Ingeniería L de B-F. Baño de María. 2003;5.
  10. Baño refrigerante. Disponible en: [https://www.quimica.es/enciclopedia/Baño\\_refrigerante.html](https://www.quimica.es/enciclopedia/Baño_refrigerante.html)
  11. Usos del tubo refrigerante. Disponible en: <https://www.instrumentodelaboratorio.info/tubo-refrigerante/>
  12. Padrón Y. Estufa de laboratorio. Disponible en: <https://iquimicas.com/estufa-de-laboratorio/>
  13. Portal de Contenidos Educativos de Química General y Laboratorio Químico. Centrífuga de Laboratorio. Disponible en: <https://www.tplaboratorioquimico.com/laboratorio-quimico/materiales-e-instrumentos-de-un-laboratorio-quimico/centrifuga-de-laboratorio.html>
  14. Servicio de Prevención de Valencia (CSIC). Seguridad en la manipulación de gases. 2001;56.
  15. Ladislao Díaz Moreno. NTP 198: Gases comprimidos: identificación de botellas. 1986;12 (INSHT).
  16. Instrumentos de Laboratorio. Disponible en: <https://instrumentosdelaboratorio.org/pipeta>
  17. Gasca FJP, Torres Salas P. Cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). 1931;41.
  18. Junta de Extremadura. Ficha de Prevención: El autoclave. 2009;7 (Servicio de Salud y Riesgos Laborales de Centros Educativos).
  19. Cuadra Rodríguez L. Cromatografía De Gases. 2010;43.
  20. BIOMATE. Instrucciones de operación del espectrofotómetro Biomate. 2010;9.
  21. Universidad Pablo Olavide. Práctica 4: Espectrofotometría. 2015;6.
  22. Farrás MGR, Guardino X. NTP 464: Prevención del riesgo en el laboratorio químico: operaciones básicas.1997;6 (INSHT).
  23. Destilación, evaporación y secado. Disponible en: <https://prezi.com/mfko0-tezstg/destilacion-evaporacion-y-secado/>
  24. Sanchis ST, Montagud AH, Solá XG. NTP 726: Clasificación y etiquetado de productos químicos: sistema mundialmente armonizado (GHS). 2006;6 (INSHT).
  25. Escuela de Administración Pública. Prevención de riesgos laborales en tareas de laboratorio. 2015;128 (Consejería de Economía y Hacienda - Región de Murcia).
  26. Farrás MGR. NTP 725: Seguridad en el laboratorio: almacenamiento de productos químicos. Notas Técnicas de Prevención. 2001;10(INSHT).
  27. BOE. Boletín oficial del estado 16/06/2018. 2018;71356300:119723-944.
  28. Merino VM. Especialidad de Seguridad en el trabajo : Sesión 13 (Universidad

- Pública de Navarra).
29. Guardino X, Farrás MGR, Gadea Carrera E. NTP 432 - Prevención del riesgo en el laboratorio . Organización y recomendaciones generales. 1999;7 (INSHT).
  30. Gadea E, Solans X, Ordóñez AM. NTP 717: Gestión y tratamiento de residuos urbanos. Riesgos laborales en centros de transferencia. 1998;5 (INSHT).
  31. Riquelme NL. Evaluación de la exposición al ruido en un laboratorio clínico. 2015;63 (Universidad Miguel Hernández).
  32. Huerta A de la I. NTP 963: Vibraciones: vigilancia de la salud en trabajadores expuestos. 2013;8.
  33. Hidalgo PE, Gutiérrez FS, Solá XG. NTP 988: Laboratorios químicos : clasificación y estimación de su peligrosidad (II). 2013;6 (INSHT).
  34. Cavallé Oller N. NTP 936: Agentes químicos : evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación ( II ). Modelo COSHH Essentials. 2008;6.(INSHT).
  35. MSA. Escort ELF Sampling Pump. 2003;2.
  36. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Determinación de bromoformo en aire - Método de adsorción en carbón activo / Cromatografía de gases. 1995;10.
  37. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del tolueno. 2007;11.
  38. ¿Qué es el ácido acético? Principales usos y aplicaciones. Disponible en: <https://www.acidoacetico.com/>
  39. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Documentación toxicológica para el establecimiento del límite de exposición profesional del n-hexano. 2007;6.
  40. Universidad de Murcia. Prevención de riesgos en laboratorios. 2006;62 (Seguridad y Salud en Centros Educativos).
  41. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT). Guía técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relacionados con los agentes químicos presentes en los lugares de trabajo. INSHT España, editor. Madrid; 2013. 169 p.
  42. Naciones Unidas. Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de productos químicos (SGA). 2017;21:581.
  43. Universidad Zaragoza. Normas de Seguridad en la manipulación de material de vidrio de laboratorio. 2017;9.
  44. Agilent Technologies. Espectrómetro AA Agilent 55B. Guía del usuario. 2017;148.
  45. Merino VM. Agentes Químicos : Información , Manipulación y Almacenamiento. 2019;31(Universidad Pública de Navarra).
  46. Gadea E, Guardino X, Rosell M. NTP 517: Prevención del riesgo en el laboratorio. Utilización de equipos de protección individual (I): aspectos generales. 1999;(I):10 (INSHT).
  47. Guantes de Protección frente a Riesgos Químicos y Microbiológicos | Construpedia, enciclopedia construcción]. Disponible en: [https://www.construmatica.com/construpedia/Guantes\\_de\\_Protección\\_frente\\_a\\_Riesgos\\_Químicos\\_y\\_Microbiológicos](https://www.construmatica.com/construpedia/Guantes_de_Protección_frente_a_Riesgos_Químicos_y_Microbiológicos)
  48. Gadea E, Guardino X, Rosell M. NTP 518: Prevención del riesgo en el laboratorio. Utilización de equipos de protección individual (II): gestión. 1999;(I):10 (INSHT).