

**MÁSTER INTERUNIVERSITARIO DE  
PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES  
ESPECIALIDAD:**

**HIGIENE INDUSTRIAL**



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**ESTUDIO DE LOS RIESGOS GENERADOS POR  
AGENTES QUÍMICOS EN LA FABRICACIÓN DE  
EXPLOSIVOS**

*Autor: Alfonso Dávila Abellán*

*Director: Andrés Perales Agüera*

# ÍNDICE

## Capítulo 1. Introducción y objetivos

1.1. Breve reseña histórica de los explosivos	Pág. 2
1.2. Uso de los explosivos industriales en la actualidad	Pág. 5
1.3. Problemática preventiva en la fabricación de explosivos	Pág. 7
1.4. Objetivos	Pág. 8

## Capítulo 2. Descripción de los explosivos a estudiar y sus procesos de fabricación

2.1. Explosivos tipo A: Dinamitas	Pág. 11
2.1.1. Dinamitas de aspecto gelatinoso (gomas)	Pág. 11
2.1.1.1. Fabricación de dinamitas gelatinosas	Pág. 12
2.1.2. Dinamitas de aspecto pulverulento	Pág. 14
2.1.2.1. Fabricación de dinamitas pulverulentas	Pág. 15
2.2. Explosivos tipo B-b: ANFO	Pág. 17
2.2.1. Fabricación de explosivos tipo ANFO y ALANFO	Pág. 17
2.3. Explosivos tipo E-a: Hidrogeles	Pág. 18
2.3.1. Fabricación de Nitrato de Monometilamina	Pág. 20
2.3.2. Fabricación de Nitrato de Hexamina	Pág. 20
2.3.3. Fabricación de Hidrogeles	Pág. 21
2.4. Explosivos tipo E-b: Emulsiones	Pág. 23
2.4.1. Fabricación de emulsiones	Pág. 24

## Capítulo 3. Descripción de los agentes químicos presentes en los procesos de fabricación

3.1. Materias primas	Pág. 28
3.1.1. Glicerina	Pág. 28
3.1.2. Monoetilenglicol	Pág. 29
3.1.3. Monometilamina	Pág. 30
3.1.4. Hexamina	Pág. 32
3.2. Sustancias explosivas	Pág. 33
3.2.1. Nitroglicerina	Pág. 34
3.2.2. Nitroglicol	Pág. 36
3.2.3. Nitrocelulosa	Pág. 37
3.2.4. Trinitrotolueno	Pág. 38
3.2.5. Nitrato de monometilamina	Pág. 40
3.3. Combustibles	Pág. 42
3.3.1. Gasóleo	Pág. 42
3.3.2. Aluminio grado pintura	Pág. 44
3.3.3. Nitrato de Hexamina	Pág. 45
3.3.4. Cera de parafina	Pág. 46
3.3.5. Aceite mineral	Pág. 47
3.4. Oxidantes	Pág. 48
3.4.1. Nitrato amónico técnico	Pág. 48
3.4.2. Nitrato sódico	Pág. 50
3.4.3. Perclorato sódico	Pág. 51
3.5. Ácidos reactivos	Pág. 52

3.5.1. Ácido Nítrico	Pág. 53
3.5.2. Óleum	Pág. 54
3.6. Espesantes	Pág. 55
3.6.1. Goma Guar	Pág. 56
3.6.2. Almidón	Pág. 57
3.6.3. Ácido Adípico	Pág. 57
3.6.4. Dibutilftalato	Pág. 59
3.6.5. Harina	Pág. 60
3.7. Otros aditivos	Pág. 61
3.7.1. Cloruro sódico	Pág. 62
3.7.2. Cloruro amónico	Pág. 63
3.7.3. Carbonato de sodio	Pág. 64
3.7.4. Piroantimoniato de potasio	Pág. 65
3.7.5. Acetato de potasio	Pág. 66
3.7.6. Tiourea	Pág. 67
3.7.7. Amoniaco	Pág. 68
3.7.8. Nitrito sódico	Pág. 70
3.7.9. Monooleato de Sorbitan	Pág. 71
3.7.10. Poliisobutileno Succínico Anhidro	Pág. 72

## **Capítulo 4. Estudio de los riesgos higiénicos derivados de la fabricación de explosivos mediante métodos simplificados**

4.1. Cálculo de las producciones diarias	Pág. 76
4.1.1. Producción diaria de Dinamitas	Pág. 76
4.1.2. Producción diaria de ANFOS	Pág. 77

4.1.3. Producción diaria de Hidrogeles encartuchados	Pág. 77
4.1.4. Producción diaria de Hidrogeles a granel	Pág. 78
4.1.5. Producción diaria de Emulsiones	Pág. 79
4.2. Metodología de evaluación	Pág. 79
4.2.1. Estimación inicial: métodos simplificados cualitativos	Pág. 80
4.2.2. Estudio básico	Pág. 81
4.2.3. Estudio detallado	Pág. 83
4.3. Evaluación del riesgo	Pág. 85
4.3.1. Evaluación del riesgo mediante Coshh Essentials	Pág. 85
4.3.2. Evaluación del riesgo mediante método del INRS	Pág. 89
4.4. Cuadro resumen	Pág. 94

## **Capítulo 5. Interpretación de los resultados y conclusiones**

5.1. Jerarquización de los riesgos	Pág. 96
5.2. Interpretación de los resultados	Pág. 101
5.3. Conclusiones	Pág. 103

## **Capítulo 6. Bibliografía**

6.1. Bibliografía	Pág. 106
6.2. Páginas webs consultadas	Pág. 107
6.3. Fichas de datos de seguridad	Pág. 108

## **Anexo 1. Método Coshh Essentials**

Pág. 111

## **Anexo 2. Método INRS**

Pág. 116



# CAPÍTULO

I

**INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

Desde la antigüedad el hombre ha tratado de mejorar su nivel de vida creando numerosas herramientas que le facilitasen el trabajo, sea cual fuere la actividad a realizar: caza, agricultura, ganadería, minería, construcción, etc. Sin embargo, cuando hablamos del desarrollo y fabricación de explosivos, tenemos que referirnos obligatoriamente a los periodos de guerra, porque fue en estos lapsos de tiempo cuando los explosivos se desarrollaron con más vigor.

Este gran progreso de los explosivos en los períodos bélicos es debido al gran poder rompedor y destructor que atesoran. Precisamente en esta característica, es donde radica la grandeza de su utilidad industrial, ya que no existe ninguna otra reacción que pueda generar mayor potencia mecánica que la detonación, lo la hace ideal para el uso en minería y obra civil.

La humanidad tardó siglos en darse cuenta que las materias explosivas podían usarse no solo para la guerra sino, también para mejorar el rendimiento de los trabajos de explotación y la producción y, además, disminuyendo la carga física de los trabajadores. En este aspecto, el intenso desarrollo que han sufrido los explosivos, sobre todo en las grandes guerras, ha constituido un gran apoyo para el descubrimiento de explosivos cada vez más potentes y, a la vez, seguros de fabricar, manejar y transportar, constituyendo una enorme ventaja para su uso de manera industrial. De este modo el trabajo que realizaban nuestros antepasados en la mina, cantera o en los trabajos de desmonte, tunelado, etc. De manera precaria, hoy día se hace de manera totalmente controlada y segura con los explosivos industriales. Lo comentado anteriormente se puede observar claramente si hacemos una breve retrospectiva por la historia de los compuestos explosivos.

## 1. BREVE RESEÑA HISTÓRICA DE LOS EXPLOSIVOS

El primer compuesto explosivo conocido fue la **pólvora negra**, una mezcla de nitrato potásico, carbón vegetal y azufre. El descubrimiento de este compuesto es muy incierto, aceptándose como teoría más plausible que su descubridor fue un alquimista Chino allá por el 220 a.C. pasando de éstos a los árabes. En sus inicios la pólvora negra fue usada para aplicaciones pirotécnicas y militares, como propulsor de armas de fuego.

No sería hasta el siglo XVI, cuando su uso se extendiese al ámbito de la obra civil y la minería. Ya en 1548 existe constancia de su utilización en el drenaje del río Niemen y posteriormente, en 1627, el minero húngaro Kaspar Windl utilizaría esta mezcla para la voladura de rocas y la fragmentación del mineral en la mina de Schemnitz (hoy día no forma parte de Hungría sino de Eslovaquia). Más tarde, este uso se extendería a las minas alemanas, suecas, inglesas, etc. Y también a la obra civil.

Una vez en auge y completo desarrollo el uso de explosivos para aplicaciones industriales, la potencia de la pólvora negra se quedaba bastante por debajo de las exigencias de la minería, por lo que la necesidad de nuevas composiciones que proporcionasen un mayor poder rompedor se hacía patente. En aras de esta necesidad, el químico sueco Alfred Nobel y su padre Immanuel Nobel, rescataron del olvido en 1859 el compuesto descubierto en 1847 por Ascanio Sobrero, la **Nitroglicerina**. Este

compuesto químico fue relegado a su uso en pequeñas cantidades medicinales (por sus propiedades vasodilatadoras) por su enorme inestabilidad y la peligrosidad de su proceso de fabricación, pero Nobel trabajó en el desarrollo de un nuevo sistema de fabricación más seguro y viable. A lo largo de sus investigaciones la fábrica de nitroglicerina de la familia Nobel, en Heleneborg, sufrió una explosión que mató al hermano de Alfred Nobel, Emil, y dejó paralítico a su padre.

Nobel no dejó sus investigaciones con la nitroglicerina para darle un uso industrial y, en 1867, patentó la **Dinamita de base inerte**, una mezcla de nitroglicerina y kieselghur. El kieselghur absorbía la nitroglicerina y la hacía más estable y manejable. Posteriormente añadiría una base activa, sustituyendo el kieselghur por una mezcla de combustibles finamente molidos, para aumentar la potencia del explosivo y disminuir el porcentaje de nitroglicerina, este tipo de dinamitas se llamaron **dinamitas de base activa**.

El gran descubrimiento de Alfred Nobel implica a otro compuesto nitrado, la **nitrocelulosa**, descubierta por el químico alemán Christian F. Schönbein y el profesor Böttger, en distintas ciudades, pero contemporáneamente, en 1845-1846. Nobel descubrió que nitrocelulosa y nitroglicerina eran miscibles entre sí y, además, que se producía una reacción de gelatinización de la mezcla, lo que era fabuloso porque retenía a la nitroglicerina y la hacía muy estable. En 1875 Alfred Nobel patentó la **Goma Pura** formada por un 92% de nitroglicerina y un 8% de nitrocelulosa.

La gran virtud de la Goma Pura, su elevada potencia, era también su mayor problema, ya que para las operaciones de minería no era necesaria tan enorme potencia y resultaba un explosivo muy caro. Entonces Nobel aplicó la tesis inversa a la que había utilizado anteriormente para aumentar la potencia de las dinamitas de base inerte, es decir, añadió a la combinación de nitroglicerina y nitrocelulosa una mezcla de productos oxidantes y combustibles, disminuyendo así su potencia, su porcentaje de nitroglicerina y su coste, aumentando significativamente su estabilidad.

Los explosivos descubiertos por Nobel permanecerían prácticamente sin variación hasta la década de los 50 donde se empiezan a desarrollar los primeros **agentes de voladura**. Estos compuestos se caracterizan por mejorar ampliamente la seguridad de los explosivos convencionales tanto en el manejo, como en el almacenamiento, ya que no son sensibles al detonador y la mayoría de sus componentes, por separado, no son explosivos.

La base de estos agentes de voladura es el **nitrate amónico**, el cual, se conocía desde 1654 pero, sin embargo, no se consideró que podía ser usado como explosivo hasta mitad del siglo XIX, cuando Grindel y Robin lo tuvieron en cuenta para reemplazar el nitrato potásico de las pólvoras y se descubrió que, en determinadas condiciones de temperatura y presión, podía ser explosivo. De hecho, los accidentes en barcos cargados de nitrato amónico y en fábricas de fertilizantes han sido numerosos con resultados devastadores.

El agente de voladura más utilizado y también el más barato y sencillo son las mezclas **ANFO** o **NAFO** (Ammonium Nitrate Fuel Oil o Nitrato Amónico Fuel Oil). Este agente de voladura surgió en los años 50 y como su propio nombre indica está constituido por

nitrate amónico y **gasoil** y puede llevar en su composición también **aluminio en polvo y grado pintura**. La gran desventaja de este compuesto es la higroscopicidad que presenta.

En busca de mejoras de los compuestos tipo ANFO, el Dr. Melvin A. Cook, preparó en 1.956 el primer **Hidrogel**, mezclando nitrate amónico, goma Guar, aluminio y agua, obteniendo un explosivo de alta densidad, alta velocidad de detonación y resistente al agua.

El desarrollo de los agentes de voladura no quedaría ahí, ni mucho menos. En 1968 H. F. Bluhm consigue formar una **emulsión explosiva** estable a partir de una solución en caliente de nitrate amónico y sódico, aceite mineral y un emulgente. Estas emulsiones son muy resistentes al agua, e insensibles. Este tipo de emulsiones tienen la posibilidad de mezclarse en cualquier proporción con el ANFO, obteniendo ANFO pesado (heavy ANFO) permitiendo una gran versatilidad y la posibilidad de abaratar los costes de las voladuras en presencia de agua.

El uso mayoritario de este tipo de explosivos se extendió rápidamente, debido a su mayor seguridad de manejo y almacenamiento con respecto a los explosivos gelatinosos, a la posibilidad de hacerlos sensibles al detonador y a que pueden utilizarse a granel (ANFO) o bombeados (Emulsiones e Hidrogeles) y no solo encartuchados como los explosivos convencionales.

La selección del explosivo depende de un gran número de variables: características de la roca o mineral a explotar, principalmente: su dureza y el tamaño de producto que queremos obtener, y de las condiciones de explotación de la mina o cantera: altura de banco, volumen de roca a volar, presencia de agua en la roca, etc.

Dependiendo de las numerosas condiciones a tener en cuenta, hemos de seleccionar un explosivo que sea adecuado a las necesidades de nuestra explotación, no obstante, los explosivos rompedores que principalmente se utilizan en España son:

- ◆ Explosivos tipo A: **Dinamitas**
- ◆ Explosivos tipo B-b: **ANFOS o NAFOS**
- ◆ Explosivos tipo E-a: **Hidrogeles**
- ◆ Explosivos tipo E-b: **Emulsiones**

Estos explosivos son fabricados por diversas empresas, autorizadas para la venta y distribución de explosivos en España y, por supuesto, también en otros países. El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio nos proporciona una lista de los explosivos permitidos en España, así como, su fabricante y su clasificación.

Obviamente, dependiendo del fabricante, podemos encontrar numerosas marcas comerciales del mismo tipo de explosivo, teniendo en cuenta que pueden existir variaciones en su composición química y en sus características químicas, termodinámicas y de detonación.

En España el principal fabricante de explosivos, con varias fábricas en nuestro país, es MAXAM (multinacional presente en todo el mundo), por tanto, los explosivos industriales que van a ser objeto de estudio en este trabajo son los que podemos obtener de dicha empresa:

#### Explosivos tipo A: Dinamitas

- Goma 1
- Riodin 9
- Riodin
- Amonita 2L
- Ligamita 1
- Explosivo de seguridad Nº20

#### Explosivos tipo B-b: ANFOS

- Rioxam AL
- Rioxam LP
- Rioxam ST
- Rioxam AL WR

#### Explosivos tipo E-a: Hidrogeles

- Riogel Kupula
- Riogel troner Plus
- Riogel troner Plus R
- Riogel troner
- Riogel troner R
- Riogel ST
- Riogel XE
- Riogel HE
- Riogur F
- Riogur R
- Permigel 1
- Riomax

#### Explosivos tipo E-b: Emulsiones

- Riomex UG
- Riomex 7000
- Riomex 8000
- Riohit

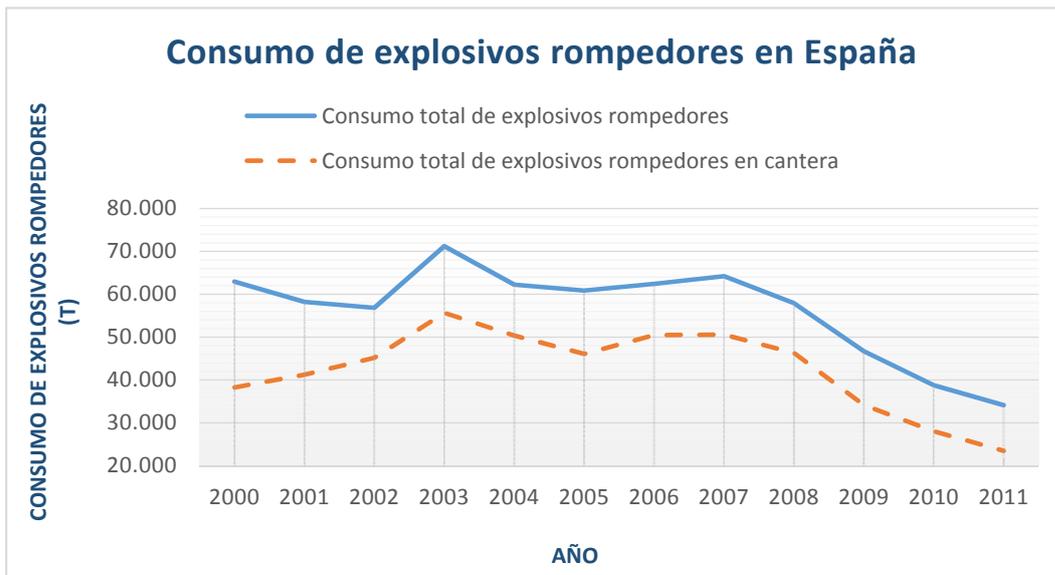
## 2. USO DE EXPLOSIVOS INDUSTRIALES EN LA ACTUALIDAD

En la actualidad el uso de explosivos industriales está acotado principalmente a las actividades de minería, cantería, obra civil y demolición. España siempre se ha

caracterizado por ser un gran consumidor de explosivos a nivel Europeo, debido al gran número de explotaciones presentes a mediados del siglo pasado, sobre todo en las cuencas mineras de Asturias, León, Andalucía y Cartagena. Algunas de estas explotaciones aún siguen operando en la actualidad, pero la gran mayoría de explotaciones de minería metálica cerraron hace años debido a las bajas leyes que presentaba el mineral, al bajo precio de los metales y los altos costes de explotación que las hacían inviables económicamente.

Pese a la decadencia de la minería metálica en la década de los noventa, se produjo un gran aumento en el número de las explotaciones mineras dedicadas a la explotación de productos de cantera y roca ornamental hasta el año 2007. A partir de dicho año el consumo ha disminuido considerablemente debido a la crisis económica.

Si observamos la gráfica 1, en los últimos 10 años, entre un 70 y un 80 % del consumo de explosivos estaba dedicado a canteras de áridos, la gran mayoría de ellas orientadas a proveer de materia prima a la construcción. Al disminuir enormemente este sector económico muchas canteras se han visto obligadas a disminuir su producción anual o incluso a cerrar.



Gráfica 1: consumo de explosivos rompedores en España

### 3. PROBLEMÁTICA PREVENTIVA EN LA FABRICACIÓN DE EXPLOSIVOS

Desde los comienzos de los primeros explosivos industriales modernos, a manos de Alfred Nobel, los accidentes mortales y daños materiales se sucedían continuamente, por lo que la legislación en materia de explosivos (Real Decreto 230/1998, de 16 de febrero, por el que se aprueba el Reglamento de explosivos) se centra básicamente en las actuaciones en materia de seguridad industrial, ciudadana y de emergencia, mientras que los aspectos tratados por la higiene industrial quedan, únicamente, recogidos por la legislación en materia de Prevención de Riesgos Laborales.

Es cierto que gran parte de los procesos, por su peligrosidad, se realizan de manera automatizada y aislada, pero, sin embargo, algunas partes del mismo, que no conllevan tanto peligro, se realizan de manera abierta, por lo que los compuestos más volátiles o pulverulentos pueden generar vapores, aerosoles o polvos tóxicos para el organismo. Aquellos que se puedan absorber por la vía dérmica, pueden penetrar al organismo o causar daños sobre la piel de los trabajadores.

La variedad de compuestos que se usa en la fabricación de explosivos es muy amplia, ya que cada fabricante tiene su propia formulación, no obstante, sólo nos vamos a centrar en los componentes más usados en los explosivos industriales y en aquellas materias primas necesarias para la síntesis de los agentes químicos presentes en los explosivos, que por la peligrosidad de su transporte han de fabricarse en el mismo lugar que el producto final.

De este modo, obtenemos la siguiente relación de compuestos susceptibles de estudio por su posible peligrosidad para la salud de los trabajadores, bien por su propia composición o por su estado físico:

#### Materias primas

- Glicerina
- Monoetilenglicol
- Monometilamina
- Hexamina

#### Sustancias explosivas

- Nitroglicerina
- Nitroglicol
- Nitrato de monometilamina
- Nitrocelulosa
- Trinitrotolueno

#### Comustibles

- Gasóleo
- Aluminio grado pintura
- Nitrato de hexamina
- Aceite mineral
- Cera de parafina

#### Oxidantes

- Nitrato amónico técnico
- Nitrato sódico
- Perclorato sódico

#### Ácidos reactivos

- Ácido nítrico 98%
- Oleum

#### Espesantes

- Goma guar
- Almidón
- Ácido adípico
- Dibutilftalato
- Harina

#### Otros aditivos

- Cloruro sódico
- Cloruro amónico
- Carbonato de sodio
- Piroantimoniato de potasio
- Acetato de potasio
- Tiurea
- Amoniaco
- Nitrito sódico
- Monooleato de Sorbitan
- Poliisobutileno succinico anhidro

## 4. OBJETIVOS

El principal objetivo de este Trabajo Fin de Máster es evaluar los riesgos derivados de los agentes químicos utilizados en la fabricación de explosivos.

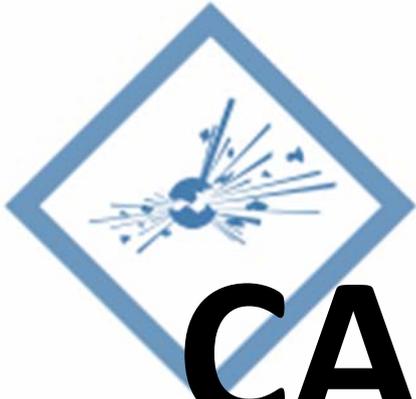
Desde el inicio de la fabricación industrial de explosivos se han incluido en las composiciones de los explosivos industriales algunos compuestos o sustancias químicas

que pueden ser muy peligrosas para la salud de los trabajadores que las manejan, aunque, éstos, no sean intrínsecamente explosivos. No obstante, a veces estos riesgos para la salud se adicionan también al riesgo de explosión y de inflamabilidad.

Conocer los efectos para la salud de los componentes que forman los explosivos no sólo es importante para aquellos trabajadores que pertenezcan al sector de la fabricación de explosivos, sino también, para aquellos que los manejan diariamente.

Al no estar en disposición de realizar un estudio real del proceso de fabricación de ningún explosivo, ni fábrica en concreto, vamos a centrar este proyecto en los siguientes puntos:

- ◊ Análisis teórico de los procesos más comunes de fabricación de explosivos.
- ◊ Basándonos en el punto anterior, estudiar cada uno de los agentes químicos que intervienen en los procesos de fabricación de los diferentes tipos de explosivos.
- ◊ Establecer una estimación inicial del riesgo químico mediante métodos simplificados, en concreto, el método COSHH ESSENTIALS y el método del INRS.
- ◊ Analizar los riesgos y realizar una jerarquización de los mismos, para establecer las pautas de actuación necesarias para disminuir el riesgo.



# CAPÍTULO

# 2

**DESCRIPCIÓN DE LOS EXPLOSIVOS A  
ESTUDIAR Y SUS PROCESOS DE  
FABRICACIÓN**

Conocer exactamente la composición y el método de fabricación de los explosivos es muy complicado, puesto que la seguridad y la confidencialidad de las formulaciones es extrema, no obstante, en la bibliografía especializada se introducen varios métodos de fabricación de explosivos que son muy próximos a la realidad de la industria de los explosivos en España, a excepción de las modificaciones técnicas particulares de cada fabricante.

Para un estudio higiénico profundo sería indispensable el conocimiento del proceso productivo, pero para la realización de un estudio preliminar, basta con tener los conocimientos generales sobre los procesos de fabricación y sobre aquellos componentes que se fabrican “in situ”, así como los datos sobre su peligrosidad potencial. De esta manera se puede establecer un protocolo de actuación sobre las técnicas preventivas que se deben implantar, mejorar o mantener en buen estado, en caso de tenerlas.

Para ello en este capítulo vamos a realizar una descripción de los explosivos a estudiar y de sus procesos de fabricación.

## 1. EXPLOSIVOS TIPO A: DINAMITAS

Las comúnmente llamadas dinamitas, como ya comentamos en la introducción, son explosivos industriales convencionales con base de Nitroglicerina (NG) o Nitroglicol (DNEG) o una mezcla de ambos (NG/DNEG). Este tipo de compuestos son descendientes directos de la “Goma Pura” inventada por Alfred Nobel en 1875. Dentro de este grupo se engloban no solo los **explosivos gelatinosos**, sino también los **explosivos pulverulentos** (con menor porcentaje de Nitroglicerina o Nitroglicol), aunque actualmente están en desuso.

### 1.1. Dinamitas de aspecto gelatinoso (gomas)

Las gomas o Dinamitas gelatinosas obtienen su consistencia de la reacción de gelatinización entre la Nitroglicerina y la Nitrocelulosa. Esta característica hace que la producción y uso industrial sean más sencillos y versátiles. Para que se produzca la reacción de gelatinización no es necesaria una gran cantidad de Nitrocelulosa, sin embargo, sí que es necesario que exista al menos un 25 % de Nitroglicerina. Con un porcentaje entre el 22 y el 15% de Nitroglicerina, las dinamitas presentan una consistencia semigelatinosa, indeseable para los procesos industriales mecanizados y continuos de encartuchado.

En algunos explosivos gelatinosos, la Nitroglicerina se sustituye por Nitroglicol o mezclas de ambos, aunque actualmente el Nitroglicol ha sido derrocado de nuevo por la Nitroglicerina.

Las dinamitas de aspecto gelatinoso que van a ser objeto de estudio son las siguientes:

- ◆ Goma 1
- ◆ Riodin 9
- ◆ Riodin

◆ Explosivo de seguridad nº20

La terna básica en la composición de las gomas es: Nitroglicerina o Nitroglicol o mezclas NG/DNEG, Nitrocelulosa y nitrato amónico, aunque esto depende del tipo de goma que se trate. En algunas clasificaciones podemos encontrar que las gomas con alta presencia de Nitrato amónico son llamadas Dinamitas especiales o Gomas especiales, sin embargo, hoy día no tiene prácticamente sentido porque cualquier dinamita presenta en el seno de su composición Nitrato amónico bien sea minoritaria o mayoritariamente.

Estos explosivos, aunque con nombre comercial diferente, presentan unas características similares entre sí, lo que hace que, a menudo, lo único que varíe sea uno o varios componentes, o los porcentajes de los mismos. Esto facilita que los procesos de fabricación sean prácticamente los mismos para todos las Gomas, con la excepción de las dosificaciones o adición de algunos compuestos.

Las características principales de las Gomas son:

<b>Densidad</b>	Mayor de 1.2g/cm <sup>3</sup>
<b>Potencia relativa</b>	Alta > 87 %
<b>Resistencia al agua</b>	Buena o muy buena (depende del contenido de Nitrato amónico)
<b>Envejecimiento</b>	Alto
<b>Velocidad de detonación</b>	Mayor de 5000 m/s
<b>Sensibilidad indeseable</b>	Alta

### 1.1.1. Fabricación de las dinamitas gelatinosas

El proceso de fabricación de las dinamitas gelatinosas pasa por varias fases, en las cuales se obtienen y adicionan los componentes, hasta llegar al explosivo final. De este modo podemos diferenciar 2 subprocesos diferentes:

- ◆ Fabricación de nitroglicerina y/o Nitroglicol
- ◆ Fabricación de la pasta explosiva

#### 1.1.1.1. Fabricación de Nitroglicerina y/o Nitroglicol

El principal método de fabricación de Nitroglicerina/Nitroglicol en España se realiza mediante el método N.A.B, el cual fue desarrollado en 1950 por la compañía, ahora llamada, Nitro Nobel. Este método se basa en un inyector, por el cual circula una mezcla sulfonítrica, glicerina o glicol o una mezcla de ambos y aire. La mezcla sulfonítrica entra refrigerada al inyector (a una temperatura de 0°C) y la glicerina y/o glicol se precalienta en un rango entre 45 y 50°C. Posteriormente, se crea una emulsión de nitroglicerina/Nitroglicol y ácido, que previo enfriamiento a 15°C, se introduce en separadores centrífugos junto con carbonato sódico (para neutralizar), quedando la Nitroglicerina/Nitroglicol dentro del proceso y enviando el ácido residual a un tanque, para su posterior reaprovechamiento. En la siguiente etapa la NG, el DNEG o la mezcla NG/DNEG es lavada para eliminar los gases (estas aguas de lavado contienen amoniaco) e introducida de nuevo en un separador, esta vez para el eliminar el agua de lavado. Este

método tiene rendimientos en torno a un 95 % para la Nitroglicerina y algo menores para el Nitroglicol (o las mezclas de ambos) por la mayor solubilidad del nitroglicol en agua.

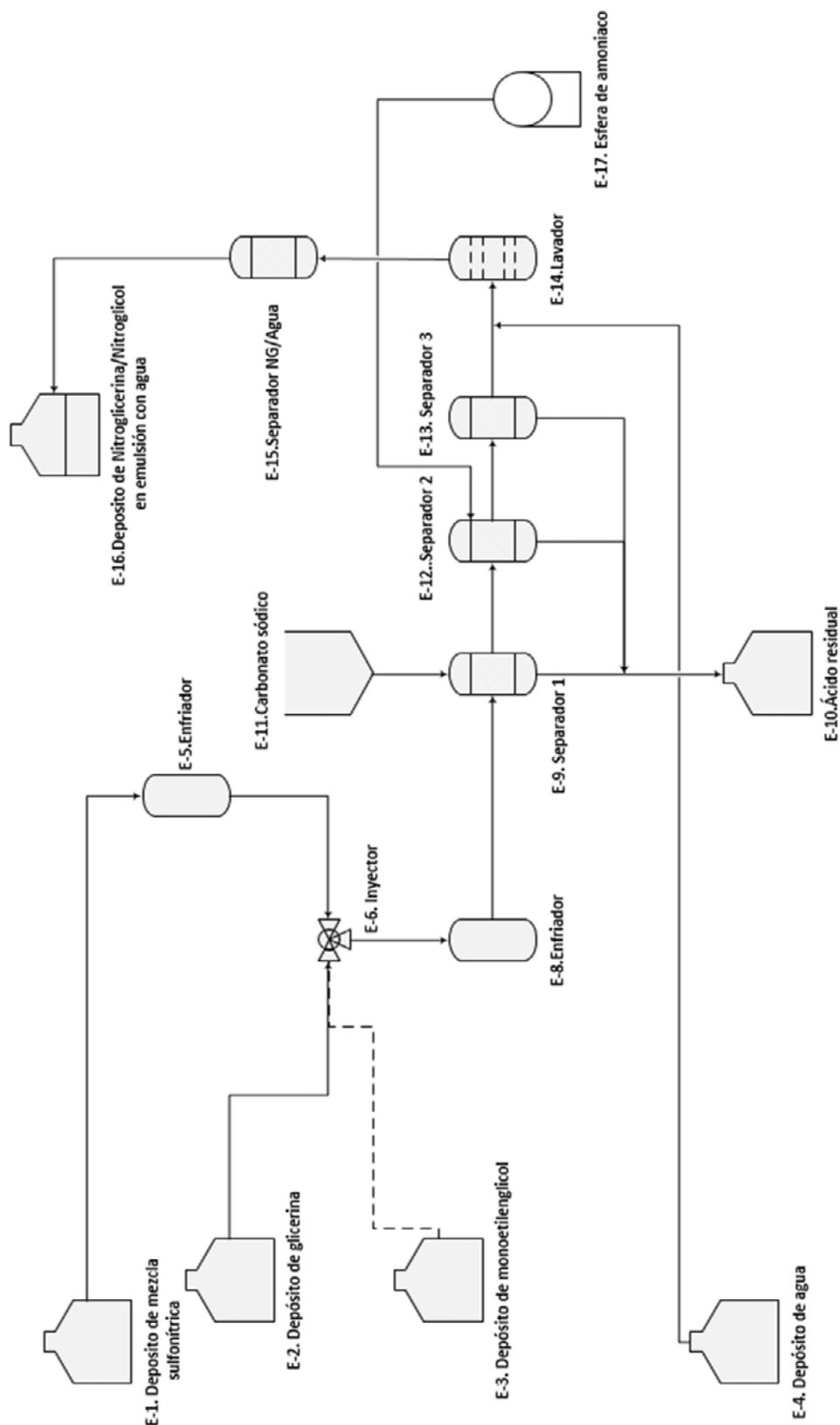


Figura 1. Esquema de fabricación de Nitroglicerina/Nitroglicol

### 1.1.1.2. Fabricación de la pasta explosiva

El proceso de fabricación de la pasta explosiva es común para todos los tipos de gomas, sin embargo, cada uno de los explosivos posee una dosificación distinta y algunos componentes difieren. Estas diferencias se presentan generalmente en la adición y pesado de sólidos así como en la cantidad de NG, DNEG o NG/DNEG y Nitrocelulosa.

El proceso básicamente consiste en el separado de la NG, el DNEG o NG/DNEG del agua con la que se encuentra almacenada y el pesado y dosificación de los distintos componentes. Posteriormente se introduce todo en una mezcladora tipo Tellex y la pasta explosiva resultante del mezclado se transporta mediante carros que se vuelcan en las máquinas de encartuchado. Para cartuchos de pequeño diámetro se utilizan encartuchadoras tipo Rollex y para gran diámetro se usan máquinas provistas de un tornillo sin fin.

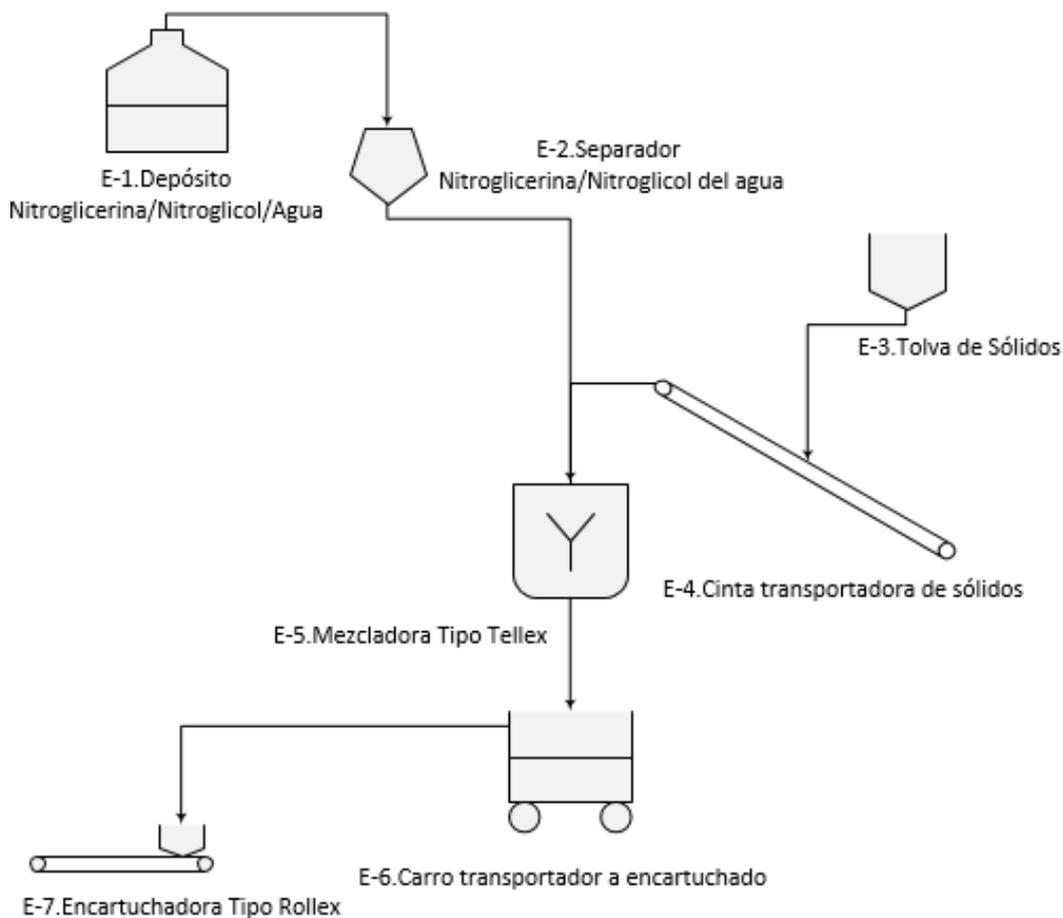


Figura 2. Esquema de fabricación de la pasta explosiva

### 1.2. Dinamitas de aspecto pulverulento

Las dinamitas pulverulentas deben esta característica al bajo porcentaje de Nitroglicerina, Nitroglicol o mezcla de ambos, menor del 15 % lo provoca que no se

produzca la reacción de gelatinización. El bajo contenido en Nitroglicerina/Nitroglicol conlleva que la potencia de este tipo de explosivos sea menor y el aspecto pulverulento le otorga una menor densidad, a tenor de que su resistencia al agua es mucho menor que la de las gomas.

Las dinamitas de aspecto pulverulento a estudiar en este trabajo son básicamente:

- ◊ Amonita 2L
- ◊ Ligamita 1

Estos explosivos se utilizan como carga de columna en barrenos, pero la inclusión de los agentes de voladura como el ANFO ha desplazado su uso a situaciones muy especiales.

Las principales características son:

<b>Densidad</b>	1-1.1 g/cm <sup>3</sup>
<b>Potencia relativa</b>	Media – Alta >70 %
<b>Resistencia al agua</b>	Mala o muy mala
<b>Envejecimiento</b>	Alto
<b>Velocidad de detonación</b>	Mayor o igual de 3000 m/s
<b>Sensibilidad indeseable</b>	Media

En algunos explosivos la NG, el DNEG o NG/DNEG se puede reemplazar completa o parcialmente por Trinitrotolueno (TNT), en concreto el caso de las Ligamitas se sustituye parcialmente. El TNT tiene menor sensibilidad y mayor estabilidad que la Nitroglicerina.

### 1.2.1. Fabricación de las dinamitas pulverulentas

El proceso de fabricación de estas dinamitas se considera análogo a la de las gomas, con unas ligeras variaciones en la fabricación de la pasta explosiva. Consta de las mismas etapas:

- ◊ Fabricación de nitroglicerina y/o Nitroglicol
- ◊ Fabricación de la pasta explosiva

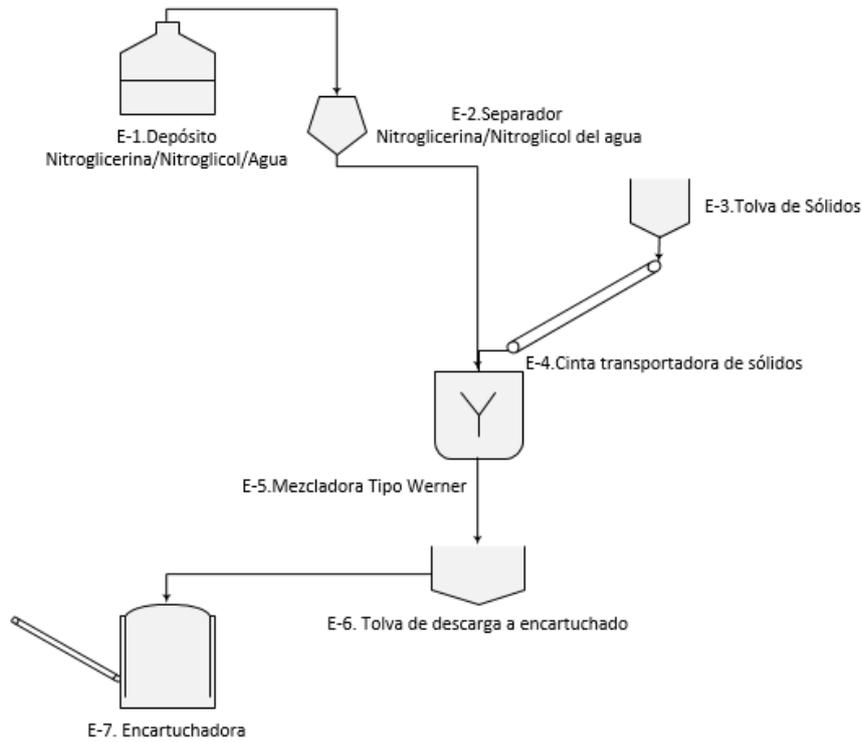
#### 1.2.1.1. Fabricación de Nitroglicerina y/o Nitroglicol

El proceso de fabricación de nitroglicerina y/o Nitroglicol es el mismo que se ha descrito anteriormente.

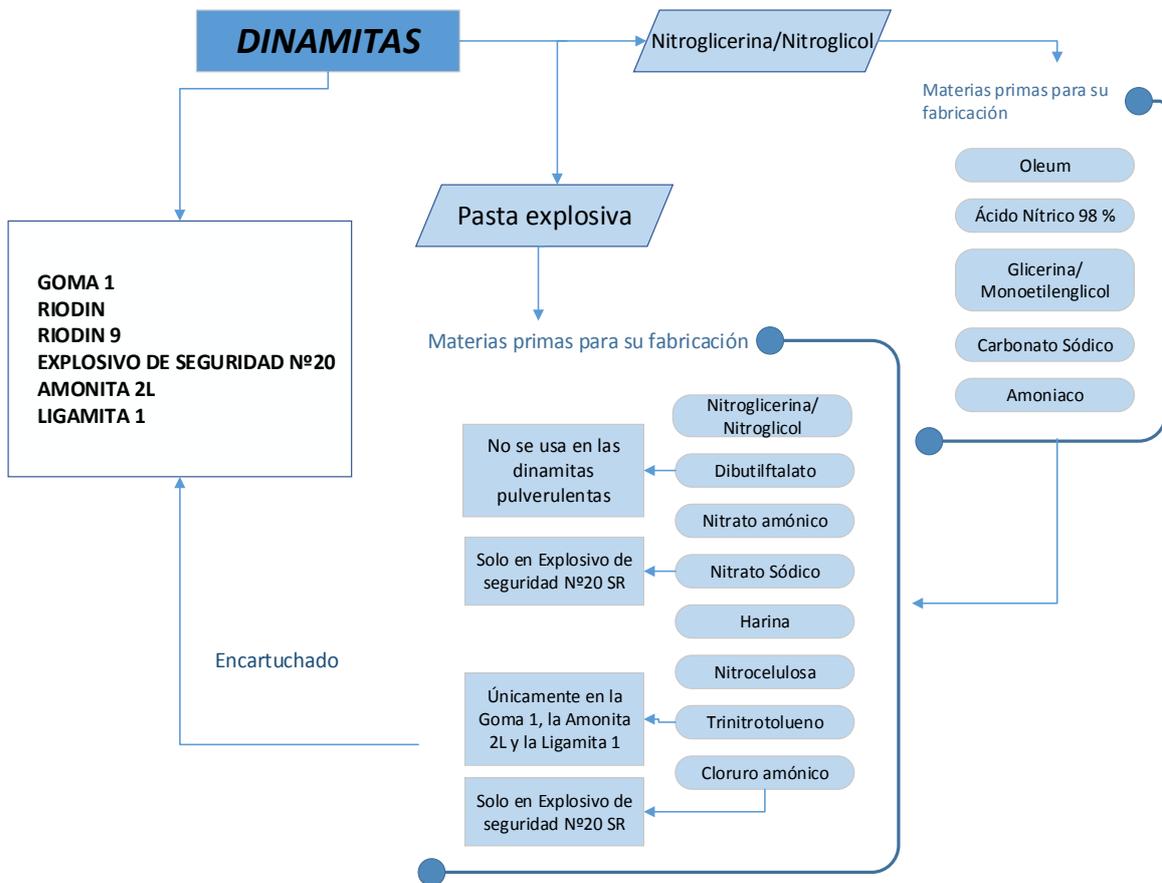
#### 1.2.1.2. Fabricación de la pasta explosiva

El proceso de fabricación es muy parecido al de las gomas, obviamente las dosificaciones y los componentes difieren y también los procesos de mezclado y encartuchado.

El proceso, hasta la etapa de mezclado, es exactamente igual, pero el tipo de mezcladora es distinto, en este caso se trata de una mezcladora tipo Werner (horizontal) o tipo Drais. La pasta explosiva se vierte en una tolva hacia una cinta transportadora que la lleva hasta las tolvas de descarga para su posterior encartuchado. Los cartuchos se preparan previamente y se llenan mediante un dosificador que, por gravedad, introduce la cantidad exacta de pasta explosiva en cada cartucho.



**Figura 3.** Esquema de fabricación de dinamitas pulverulentas



**Figura 4:** esquema de los agentes químicos necesarios para la fabricación de Dinamitas

## 2. EXPLOSIVOS TIPO B-b: ANFO

Este tipo de mezclas bicomponente pertenece al grupo de los llamados agentes de voladura, cuya principal característica es: que la gran mayoría de sus componentes no son intrínsecamente explosivos.

Los explosivos tipo ANFO (Ammonium Nitrate Fuel Oil) están constituidos por nitrato amónico y fuel oil. Desde el punto de vista energético y de potencia son explosivos muy pobres, sin embargo, el poder rompedor que poseen, es enorme. Esto es debido al gran volumen de gases que se desprenden en su detonación (970 l/kg en proporción estequiométrica).

Por tanto, además de ser un explosivo mediocre, el nitrato amónico es extremadamente higroscópico, lo que lo hace muy poco resistente al agua y a la humedad. A pesar de esto, si las condiciones ambientales lo permiten, las mezclas tipo ANFO, no tienen rival en cuanto a la utilización de explosivos industriales se refiere, tanto en minería como en obra civil.

Los explosivos tipo ANFO a estudiar en este trabajo son básicamente:

- ◆ Rioxam AL
- ◆ Rioxam LP
- ◆ Rioxam ST
- ◆ Rioxam AL WR

Las principales características del ANFO son:

<b>Densidad</b>	0.8- 0.95 g/cm <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>	70 – 80 %
<b>Resistencia al agua</b>	Muy mala
<b>Velocidad de detonación</b>	Mayor de 4000 m/s
<b>Sensibilidad indeseable</b>	Baja

A menudo el ANFO puede llevar en su composición Aluminio en grado pintura y atomizado, los cuales actúan como sensibilizante y potenciador respectivamente, al actuar este último como combustible en la mezcla.

### 2.1. Fabricación de explosivos tipo ANFO y ALANFO

El proceso de fabricación del ANFO es el más sencillo de los que vamos a abordar en este trabajo fin de máster, puesto que, básicamente, se realiza mediante el vertido de Nitrato Amónico y aluminio (en las variedades de ALANFO, como son el Rioxam AL y Rioxam AL WR) con las dosificaciones y pesajes pertinentes a una tolva de alimentación que los vierte en un mezclador helicoidal donde se produce la inyección de Gasoil. Una vez realizada la mezcla, el ANFO pasa, bien a la máquina ensacadora, si se trata de ANFO a granel, o bien a la máquina encartuchadora si es ANFO encartuchado (ésta última opción es muy poco común).

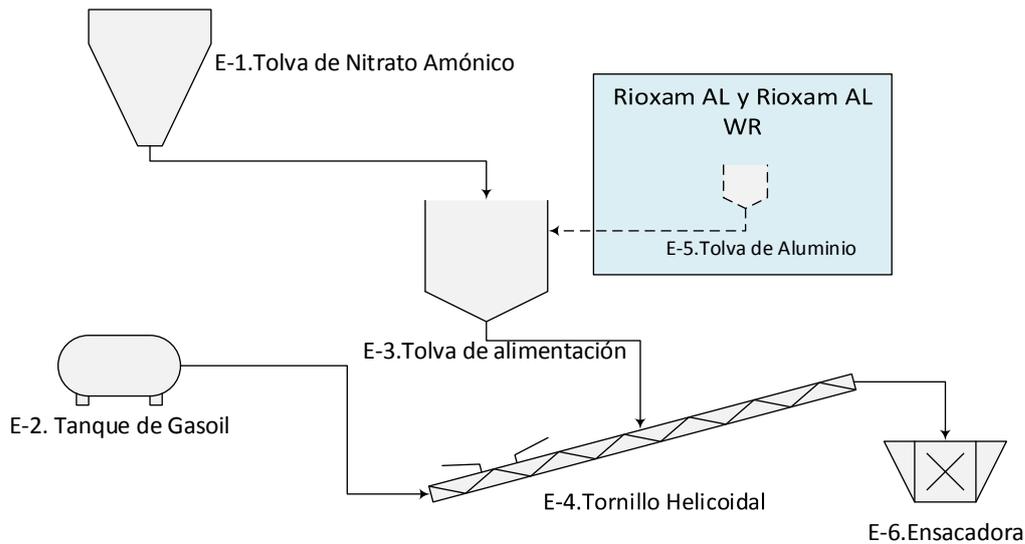


Figura 5. Esquema de Fabricación de ANFO

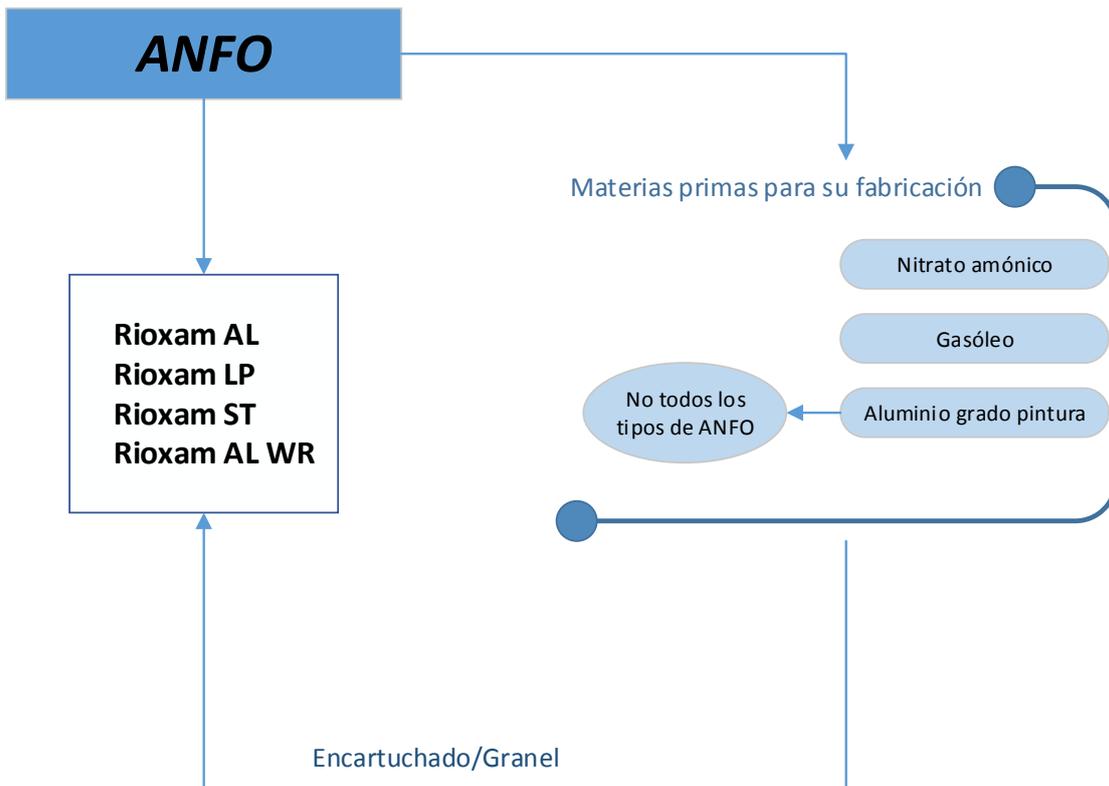


Figura 6: esquema de los agentes químicos necesarios para la fabricación

### 3. EXPLOSIVOS TIPO E-a: Hidrogeles

Los Hidrogeles constituyeron un hito muy importante en la industria de los explosivos, puesto que fueron los primeros explosivos industriales que contenían un elevado porcentaje de agua. La dupla básica de los Hidrogeles está formada por agua y Nitrato Amónico en forma de solución acuosa saturada. A esta solución se añaden combustibles,

oxidantes y agentes espesantes y gelatinizantes (que dependen del tipo de hidrogel y si se va a utilizar a granel mediante bombeo o encartuchado).

<b>Densidad</b>	1.4 - 1.5 g/cm <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>	72 – 85 %
<b>Resistencia al agua</b>	Muy buena
<b>Velocidad de detonación</b>	3000 - 5000 m/s
<b>Sensibilidad indeseable</b>	Baja

Los tipos de Hidrogeles que se van a estudiar en este trabajo son:

- ◊ Riogel Kupula
- ◊ Riogel troner Plus
- ◊ Riogel troner Plus R
- ◊ Riogel troner
- ◊ Riogel troner R
- ◊ Riogel ST
- ◊ Riogel XE
- ◊ Riogel HE
- ◊ Riogur F
- ◊ Riogur R
- ◊ Permigel 1
- ◊ Riomax

Existen algunos Hidrogeles sensibilizados con sustancias explosivas como TNT y Pentrita y, algunos otros, sensibilizados con Aluminio grado pintura, sin embargo, los más extendidos y los nombrados arriba están sensibilizados con nitratos de aminas, en concreto con Nitrato de Monometilamina, pero, también pueden tener como sensibilizante principal Nitrato de Hexamina en sustitución del Nitrato de Monometilamina.

El Nitrato de Monometilamina es una sustancia explosiva muy insensible en estado seco y prácticamente indetonable diluido en más de un 14% de agua (considerado como no explosivo). El Nitrato de Hexamina se produce mediante la reacción de nitración entre el Ácido Nítrico y la Hexamina. Los hidrogeles sensibilizados con nitrato de Hexamina son aquellos que se utilizan bombeados a granel, ya que, al tratarse de un sensibilizante no explosivo, los problemas con el transporte son menores. En los Hidrogeles encartuchados se sigue utilizando el Nitrato de monometilamina, ya que presenta unas propiedades explosivas y sensibilizantes mucho mejores que el de Hexamina. Los explosivos sensibilizados con Nitratos de Aminas poseen, también Aluminio actuando como combustible y sensibilizante a la vez.

Por tanto en el proceso de fabricación de los Hidrogeles podemos distinguir tres subprocesos:

- ◊ Fabricación de Nitrato de Monometilamina
- ◊ Fabricación de Nitrato de Hexamina

- ◆ Fabricación de la mezcla que constituye el hidrogel

### 3.1. Fabricación de Nitrato de Monometilamina

La fabricación de Nitrato de monometilamina es relativamente sencilla y bastante segura. Básicamente se trata de hacer pasar monometilamina en estado gaseoso por un reactor cuyo seno está lleno de ácido Nítrico. La concentración de la solución acuosa de Nitrato de Monometilamina (la más conveniente para su utilización en Hidrogeles es entre un 84-86%) depende de la concentración del ácido Nítrico.

La reacción es altamente exotérmica por lo que el reactor debe estar provisto de refrigeración para mantener la temperatura entre 60 y 80°C y debe tener agitación permanente para que la homogeneización y el contacto entre ambos reactivos sea la mayor posible. Otro factor a tener muy en cuenta es el pH, cuando éste llega a 7 la reacción se da por terminada.

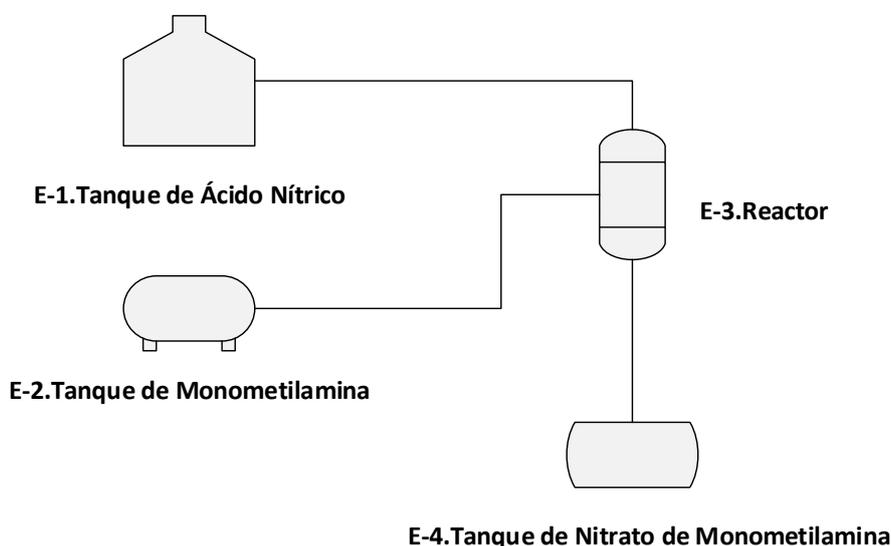


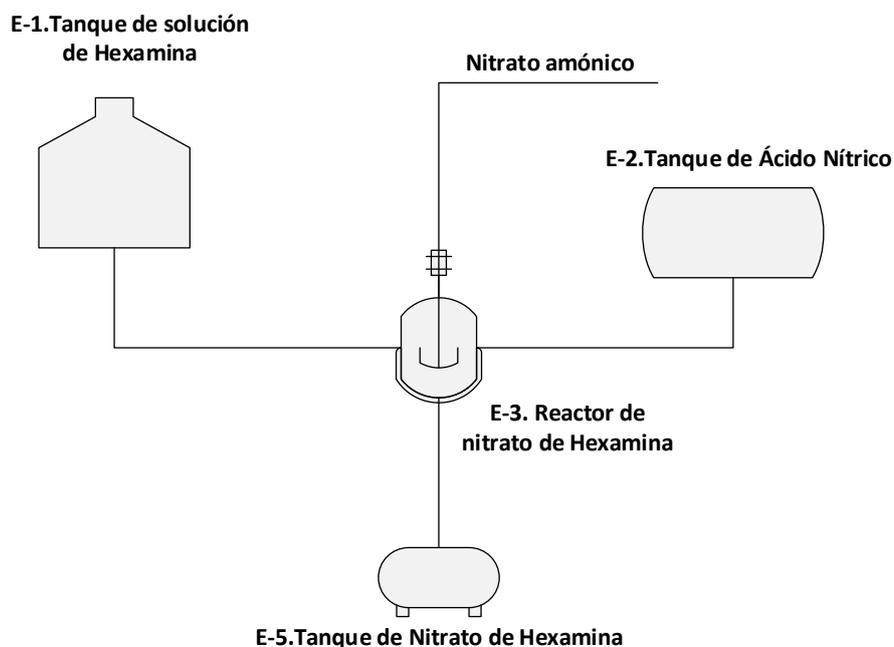
Figura 7. Fabricación de Nitrato de Monometilamina

### 3.2. Fabricación de Nitrato de Hexamina

La fabricación industrial del Nitrato de Hexamina se obtiene por reacción de neutralización entre una solución acuosa de Hexamina con Ácido nítrico al 60% a una temperatura entre 25-30°C. Para mantener la temperatura es necesaria la refrigeración del reactor y para que se produzca la reacción la relación molar entre el Ácido nítrico y la solución de Hexamina debe ser mayor de o igual a 2. Posteriormente el Nitrato de Hexamina resultante se filtra a una temperaturas entre -10 y 10°C para que se produzca su precipitación y se estabiliza añadiendo Hexamina para neutralizar los ácidos residuales.

Ahora bien, se han desarrollado métodos alternativos, los cuales han permitido que se pueda fabricar el Nitrato de Hexamina con un mezclador simple, sin necesidad de refrigeración, gracias al Nitrato amónico. La presencia de éste último permite que la

reacción de neutralización se refrigere sin necesidad de medios adicionales. Posteriormente se neutraliza mediante la adición de Hexamina o de otra amina y se obtiene una solución de Nitrato de Hexamina con nitrato amónico, lista para recibir el resto de aditivos que conforman el hidrogel. Esta última reacción es la que se utiliza en los hidrogeles a granel, contribuyendo a que la mezcla de los componentes del hidrogel bombeado se puedan transportar de manera separada y realizar su mezclado in situ, sin necesidad de preparar con anterioridad el Nitrato de Hexamina.



**Figura 8.** Fabricación de Nitrato de Hexamina

### 3.3. Fabricación de Hidrogeles

La gran particularidad de los Hidrogeles es su gran porcentaje de agua que les otorga una elevada fluidez, por lo que su utilización mediante bombeo directamente en el barreno es una opción nada desdeñable con respecto a los Hidrogeles encartuchados, debido a las ventajas que conlleva para la carga del barreno.

Lo comentado en el párrafo anterior, desde el punto de la fabricación no tiene apenas influencia, pues el proceso es análogo tanto para los Hidrogeles cuyo destino es el camión que lo transporta a la mina como para aquellos que van a ser encartuchados. La salvedad entre ambos es que en los explosivos a granel se utiliza Nitrato de Hexamina como agente sensibilizante, en detrimento del nitrato de Monometilamina, debido a los problemas con el transporte de éste último.

El proceso de fabricación consiste en la preparación mediante dosificado de los aditivos necesarios para la síntesis en tanques agitadores tanto del sensibilizante, formado por una solución acuosa de almidón como del reticulante, sintetizado a partir de una solución acuosa con Piroantimoniato de potasio, Etilenglicol y Acetato potásico. Estos agentes reticulantes y sensibilizantes pasan directamente a los compartimentos del

camión transportador (si se trata de Hidrogel bombeado in situ) o pasa a la mezcladora junto con la Matriz Rioflex en caso de ser Hidrogel encartuchado.

Para la producción de la Matriz Rioflex se vierten en una mezcladora (tipo Ribbon): Goma Guar, Gasóleo, Nitrato amónico, Nitrato sódico, Perclorato sódico y Nitrato de Monometilamina o nitrato de Hexamina (Hexamina con ácido nítrico).

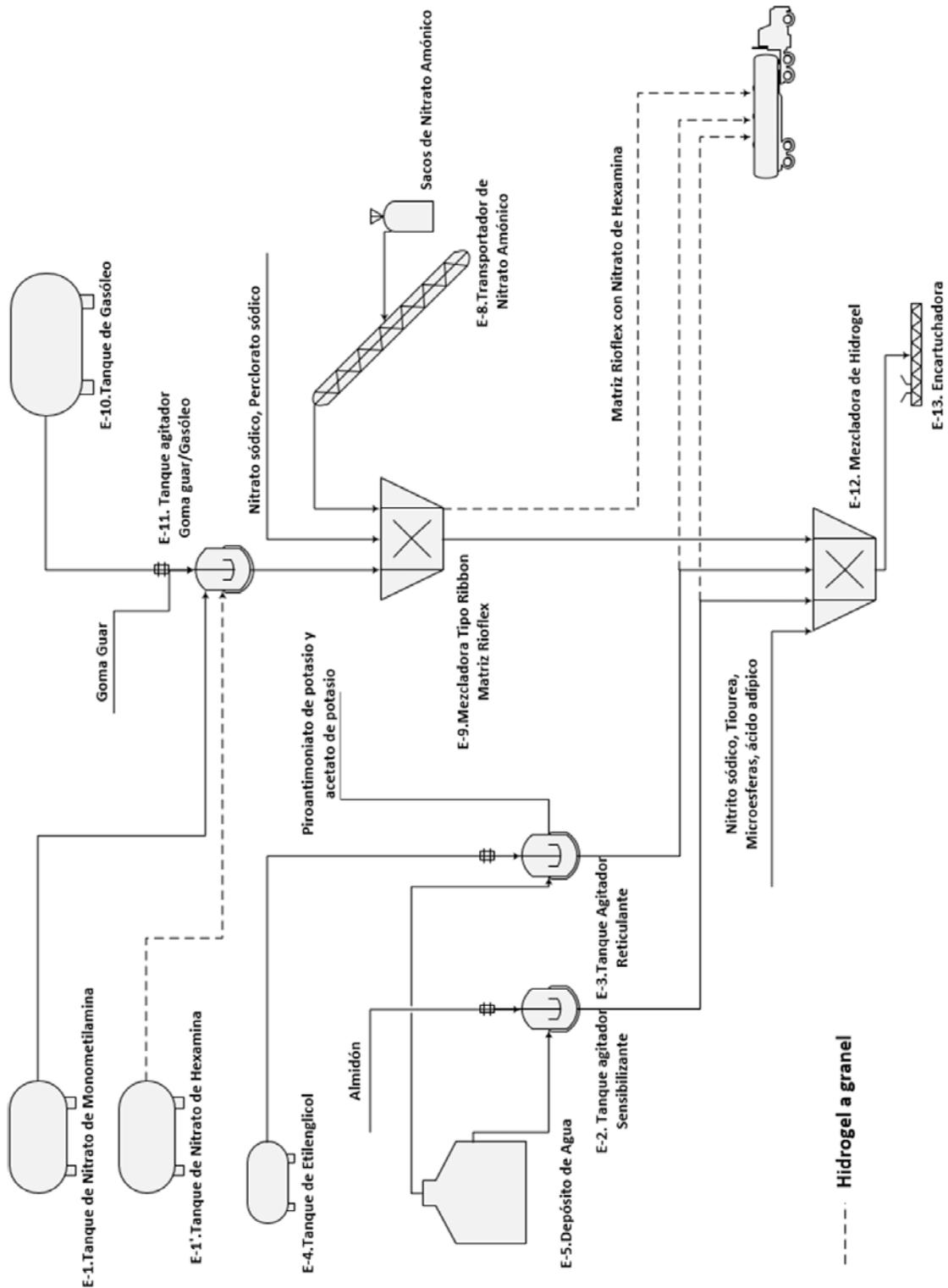
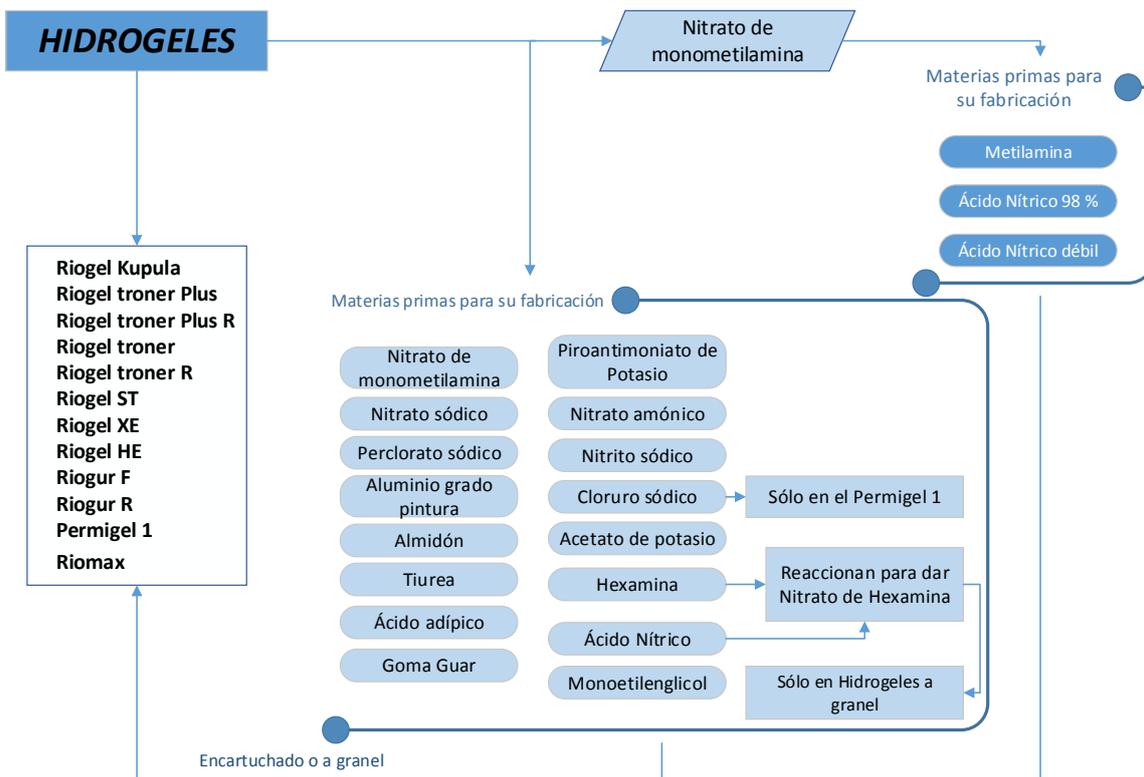


Figura 9: Esquema de fabricación de Hidrogeles

También se adiciona Tiourea para que actúe como catalizador de dicha reacción, Ácido adípico, microesferas de vidrio (actúan como puntos calientes en la detonación) para aumentar la sensibilidad del Hidrogel y los demás aditivos. El proceso de mezclado se realiza entre 45-50°C para evitar la cristalización de los compuestos.

En el caso del Hidrogel Bombeado, esta matriz se introduce en el camión transportador y, en el caso de Hidrogel encartuchado, se vierte en otra mezcladora junto con la solución Sensibilizante y Reticulante, para su posterior encartuchado. Éste se realiza mediante el bombeo del hidrogel en un cartucho continuo que posteriormente es grapado y cortado en las dimensiones deseadas.



**Figura 10:** esquema de los agentes químicos necesarios para la fabricación de hidrogel

#### 4. EXPLOSIVOS TIPO E-b: Emulsiones

Cuando nos referimos a Emulsiones explosivas nos referimos principalmente a dos fases líquidas que no son miscibles entre sí constituidas, principalmente, por agua y aceite mineral. En presencia de un emulgente (para disminuir la tensión interfacial y que la emulsión pueda tener lugar) se forma una fase dispersa y otra continua de tal manera que la primera queda a modo de gotitas disipadas en el seno de la fase continua.

Las Emulsiones explosivas contienen, al igual que los Hidrogeles, soluciones de oxidantes y combustibles que le confieran su explosividad, por ello se utilizan emulsiones de “agua en aceite” (llamadas inversas) en las que la fase dispersa es agua y la fase continua es aceite, ya que en las emulsiones de “aceite en agua” la presencia de sales desestabiliza

la emulsión a pesar de la presencia de un emulsificante. El que se produzca una emulsión de “aceite en agua” o “agua en aceite” depende de la afinidad del emulsificante por cada compuesto.

Los componentes básicos son comunes a los Hidrogeles: solución acuosa de Nitrato Amónico, Nitrato sódico, Perclorato sódico y otros oxidantes, la adición de una fase combustible formada gasóleo, cera de parafina y aceite mineral y de otros componentes como Nitrato de Hexamina, microesferas y aluminio que les confieren una mayor sensibilidad.

A los componentes anteriormente mencionados hemos de añadir el emulsificante, que normalmente, son mezclas de Monooleato de Sorbitan (MOS) y Poliisobutileno succínico (PIBSA).

<b>Densidad</b>	0.85 - 1.25 g/cm <sup>3</sup>
<b>Potencia</b>	77 – 85 %
<b>Resistencia al agua</b>	Muy buena
<b>Velocidad de detonación</b>	3500 - 7000 m/s
<b>Sensibilidad indeseable</b>	Baja

Las principales Emulsiones explosivas que van a ser objeto de estudio son las siguientes:

- ◆ Riomex UG
- ◆ Riomex 7000
- ◆ Riomex 8000
- ◆ Riohit

Una de las principales ventajas de la Emulsiones explosivas es la posibilidad de mezclarlas en cualquier proporción con el ANFO, mejorando enormemente las propiedades de éste último, entre otras, su densidad y su higroscopicidad, ya que la emulsión recubre los intersticios de los prills de ANFO, creando una película impermeabilizante y aumentando su densidad. Esta mezcla se denomina ANFO pesado y la proporción más utilizada es un 30% de Emulsión y un 70% de ANFO.

#### 4.1. Fabricación de Emulsiones

El proceso de fabricación de las emulsiones se realiza a partir de la preparación de la solución de oxidantes y combustibles en dos tanques calefactados y agitados. En el primero de ellos la solución está formada principalmente por agua, Nitrato amónico, Nitrato sódico y Perclorato sódico a una temperatura entre 80 y 90°C y el segundo contiene la mezcla de MOS y PIBSA y los combustibles: Gasóleo, cera de parafina y aceite mineral a una temperatura de 65°C.

Las mezclas resultantes de ambos tanques pasan, con su dosificación exacta, a un mezclador continuo, es en este paso donde las fuerzas accionadas por la rápida agitación provocan una ruptura de la interfase entre los líquidos inmiscibles, generando la dispersión de gotas de la fase acuosa en la fase continua. Después de su paso por el mezclador continuo se produce el llamado refinado de la emulsión, ésta se hace pasar por un molino coloidal para disminuir el tamaño de las gotas de la fase acuosa aumentando

su estabilidad y homogeneización. Llegado a este punto se realiza la adición del aluminio, las microesferas de vidrio y el nitrato de Hexamina, cuya dosificación o presencia depende del tipo de emulsión.

Posteriormente pasan a encartuchado o a camiones que las vierten directamente sobre el barreno, el encartuchado se realiza de manera análoga a los hidrogeles.

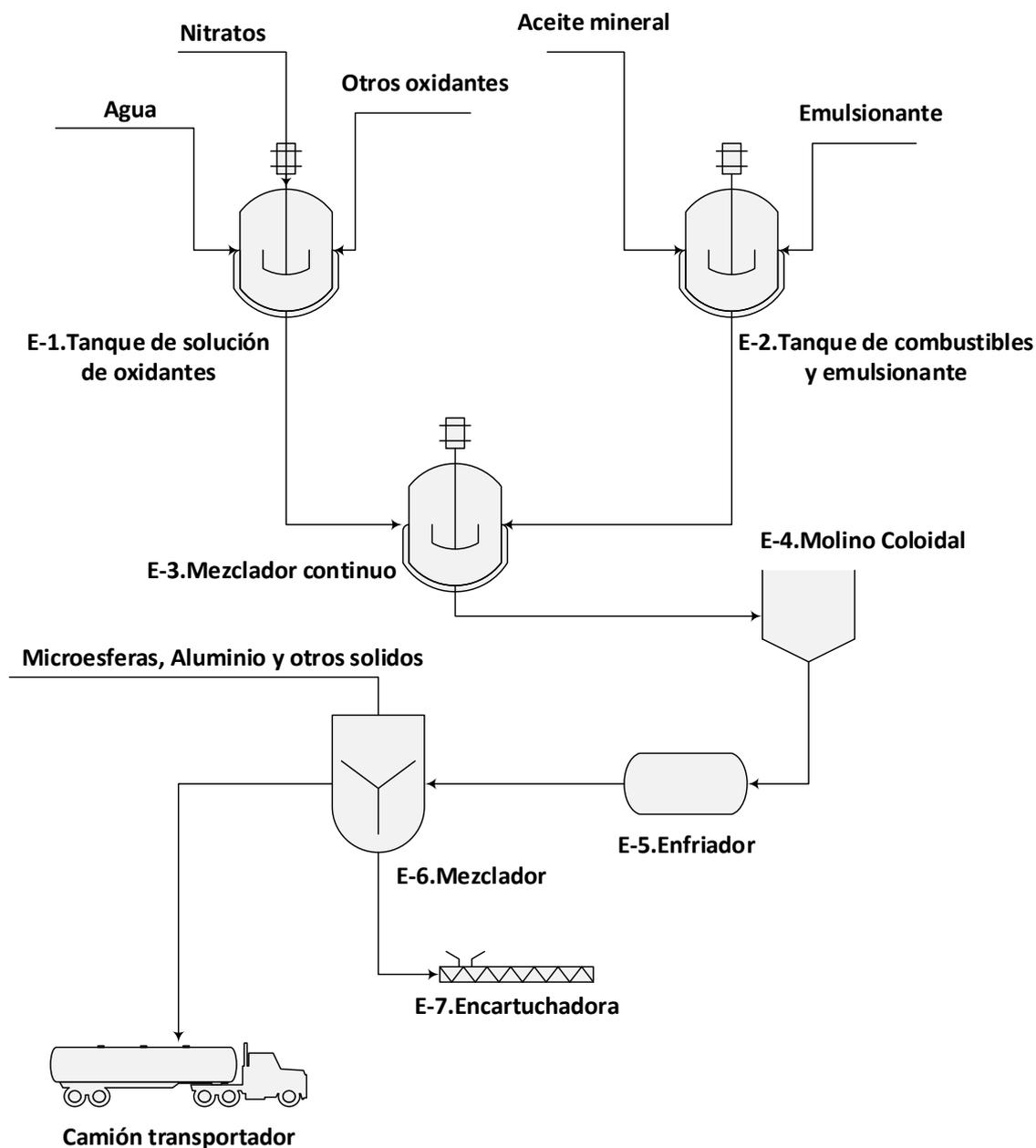
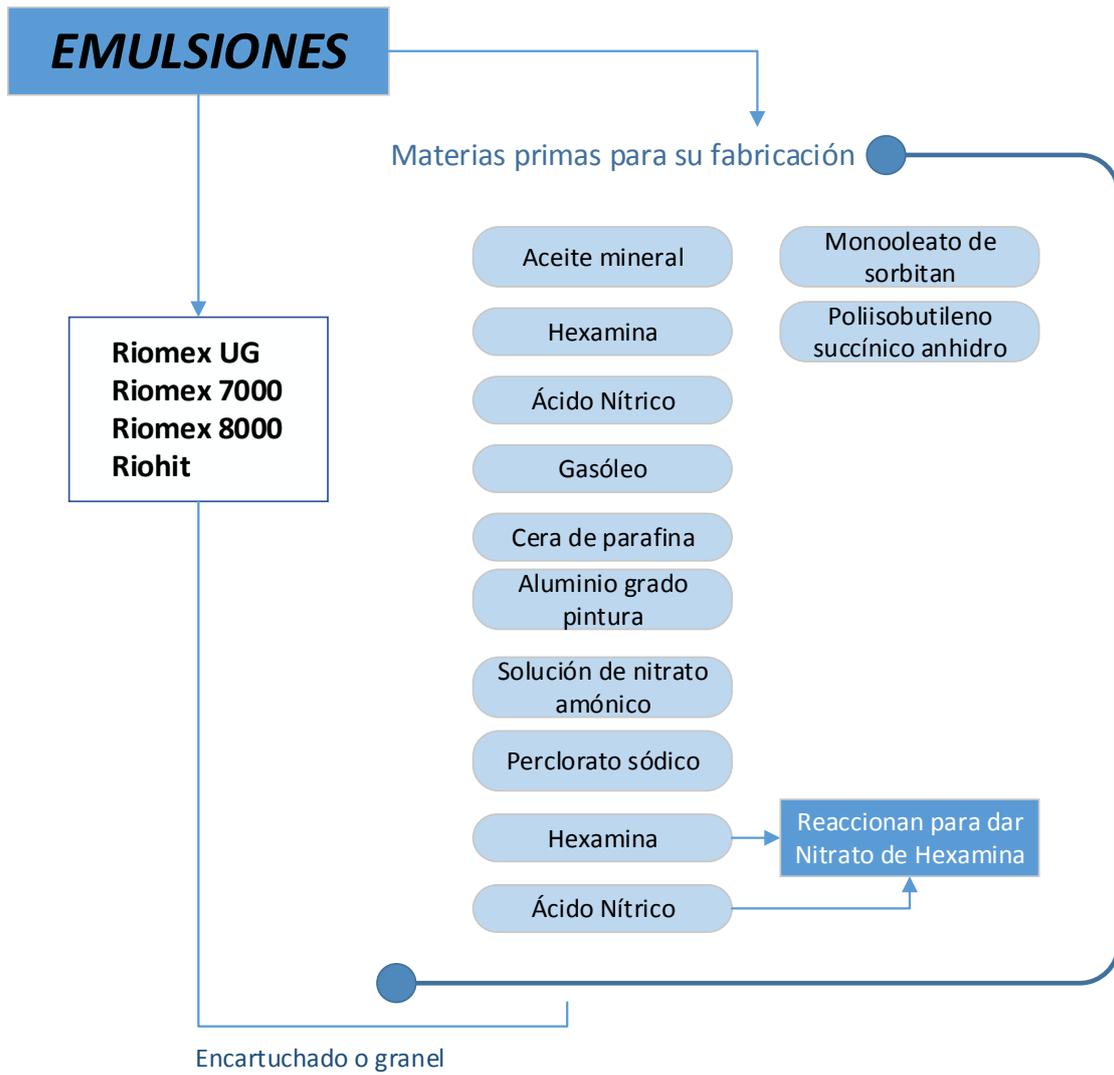
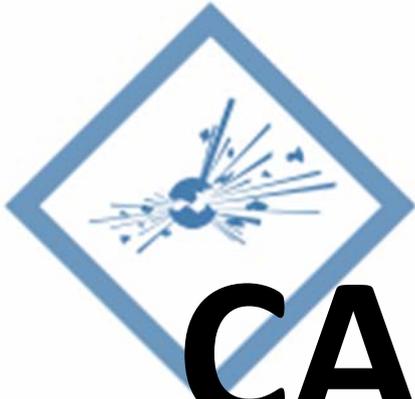


Figura 11: Esquema de fabricación de Emulsiones



**Figura 12:** esquema de los agentes químicos necesarios para la fabricación de emulsiones



# CAPÍTULO

---

3

---

**DESCRIPCIÓN DE LOS AGENTES  
QUÍMICOS PRESENTES EN LOS  
PROCESOS DE FABRICACIÓN**

---

Para estar en disposición de realizar una evaluación de los riesgos generados por los agentes químicos utilizados en la fabricación de explosivos, en primer lugar hemos de conocer en profundidad sus características químicas, físicas y por supuesto toxicológicas.

Muchos de los agentes químicos son comunes a todos los tipos de explosivos por lo que en este trabajo se van a agrupar los compuestos dependiendo de la función que tienen en el seno de la composición explosiva. De este modo vamos a distinguir: materias primas, sustancias explosivas, combustibles, oxidantes, ácidos reactivos, espesantes y otros aditivos.

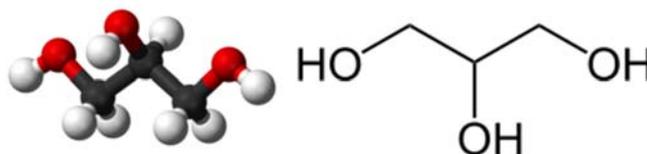
## 1. MATERIAS PRIMAS

La gran mayoría de la sustancias explosivas tienen graves restricciones en el transporte, llegando a su prohibición en algunos casos, por lo que, en las fábricas que se fabriquen explosivos sensibilizados con sustancias explosivas como la Nitroglicerina, el Nitroglicol y el Nitrato de monometilamina, éstas se han de fabricar in situ. El transporte de la Nitrocelulosa y el Trinitrotolueno son viables por lo que no es necesaria su fabricación in situ.

Por tanto las materias primas a estudiar son:

- ◊ Glicerina
- ◊ Monoetilenglicol
- ◊ Monometilamina
- ◊ Hexamina

### 1.1. Glicerina



La Glicerina es el triol más simple, está formado por tres grupos hidroxilos. Se encuentra en todas las grasas naturales tanto animales, como vegetales, formando esteres grasos. Es un líquido de sabor dulzón, higroscópico, inodoro e incoloro.

La gran mayoría de la producción de glicerina proviene de la transesterificación o saponificación de grasas y aceites animales o vegetales, aunque también se puede obtener por síntesis química a partir del propileno.

Tiene muchos usos, aunque en el ámbito de los explosivos se limita a la fabricación de Nitroglicerina y otros esteres nitrados, por lo que realmente no está presente en ningún explosivo industrial como componente, sino que pertenece a los procesos de fabricación previos a la mezcla final de las dinamitas.

#### 1.1.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Glicerina son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	56-81-5
<b>Peso molecular</b>	92.1 g/mol
<b>Densidad</b>	1.26 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	18 °C
<b>Punto de ebullición</b>	290 °C

### 1.1.2. Características toxicológicas

Es una sustancia poco peligrosa aunque si se alcanza una concentración elevada de nieblas de glicerina en el ambiente puede causar molestias y al calentarla intensamente produce humos corrosivos de acroleína.

En contacto con la piel puede causar sequedad y por ingestión diarrea.

### 1.1.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

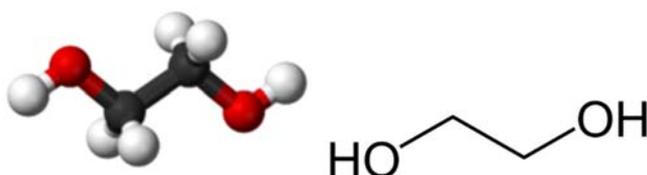
No presenta frases H.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 10 mg/m<sup>3</sup> (nieblas)

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 1.2. Monoetilenglicol



El Monoetilenglicol pertenece al grupo de los dioles y es un líquido de sabor dulzón, higroscópico, inodoro e incoloro y se utiliza principalmente como anticongelante o como materia prima para fabricación de otros compuestos. En el caso de los explosivos se utiliza principalmente para la obtención de Nitroglicol y forma parte de la solución de reticulante en los hidrogeles.

El Monoetilenglicol se obtiene por hidrólisis del óxido de etileno sintetizado por oxidación directa del etileno con aire u oxígeno.

### 1.2.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Monoetilenglicol son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>HOCH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH</b>
<b>Nº CAS</b>	107-21-1
<b>Peso molecular</b>	62.07 g/mol
<b>Densidad</b>	1.11 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	-13 °C
<b>Punto de ebullición</b>	197.6 °C

### 1.2.2. Características toxicológicas

El Monoetilenglicol puede penetrar por todas las vías de exposición, absorbiéndose principalmente por vía inhalatoria y cutánea. El Monoetilenglicol presenta una volatilidad considerable, por lo que puede generar concentraciones nocivas en aire aunque lentamente.

Los principales efectos de la exposición aguda por inhalación son tos, vértigo y dolor de cabeza y en su exposición crónica puede afectar a sistema nervioso central y a los riñones.

En cuanto a la exposición dérmica, además de absorberse, puede causar sequedad de la piel y en contacto con los ojos, dolor y enrojecimiento. Si se produce la ingestión accidental provoca dolor abdominal, embotamiento, náuseas, vómitos e incluso pérdida de conocimiento.

### 1.2.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Daño a órganos específicos categoría 2</b>	<b>Frase: H373</b> Puede provocar daños en los órganos (riñón) tras exposiciones prolongadas por vía oral
---	---	--

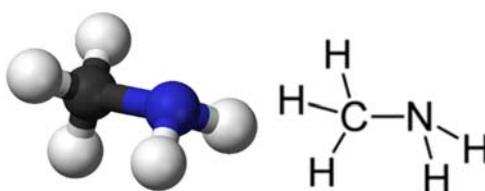
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase: H302</b> Provoca lesiones oculares graves
---	------------------------------------	--

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 52 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): 104 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 1.3. Monometilamina



La Monometilamina es un gas incoloro con olor característico que se obtiene de la reacción exotérmica entre el metanol y el amoníaco, usando un catalizador de sílice amorfa-alúmina a unos 390-430 °C.

La Monometilamina se utiliza en la industria química como producto intermedio de síntesis para productos farmacéuticos, pesticidas, surfactantes y en la industria de los explosivos, se usa como materia prima para la fabricación de Nitrato de Monometilamina.

#### 1.3.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Monometilamina son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	74-89-5
<b>Peso molecular</b>	31.06 g/mol
<b>Densidad</b>	0.66 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	-93.46 °C
<b>Punto de ebullición</b>	-6.33 °C

### 1.3.2. Características toxicológicas

La Monometilamina puede absorberse por cualquiera de las tres vías de exposición, aunque al tratarse de un producto gaseoso, la principal y más peligrosa es la vía inhalatoria.

Los efectos agudos de esta sustancia son irritación de la piel, los ojos y el tracto respiratorio y los síntomas principales son: calambres abdominales (por ingestión y por inhalación), tos, diarrea, dificultad respiratoria, jadeo, dolor de garganta y vómitos, pudiendo causar edema pulmonar (los síntomas no se ponen de manifiesto hasta pasadas algunas horas).

Los efectos crónicos de la exposición a la sustancia solo se presentan por vía dérmica, ya que el contacto prolongado con la sustancia puede producir dermatitis.

### 1.3.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Gas inflamable categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H220 Gas extremadamente inflamable
	<b>Gas licuado</b>	<b>Frase:</b> H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase:</b> H332 Nocivo en caso de inhalación
	<b>Irritante de la piel categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H315 Causa irritación de la piel
	<b>Dañino para los ojos categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H318 Provoca lesiones oculares graves
		<b>Frase:</b> H335



**Daño a órganos específicos por exposición aguda categoría 3**

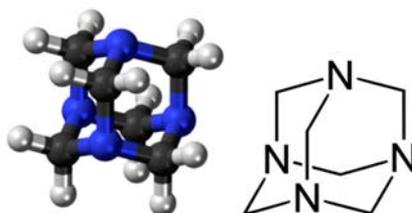
Puede irritar las vías respiratorias (afecta al sistema respiratorio, estómago e intestinos) vía inhalatoria

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 6.5 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): 19 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 1.4. Hexamina



La Hexamina es un sólido cristalino blanco que se utiliza en la industria farmacéutica como antibiótico. En la industria de los explosivos se usa como materia prima nitrato de Hexamina y también de explosivos militares tan potentes como el RDX o el HMX.

### 1.4.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Hexamina son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	100-97-0
<b>Peso molecular</b>	140.20 g/mol
<b>Densidad</b>	1.33 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	285 °C (descomposición)
<b>Punto de ebullición</b>	>230 °C

### 1.4.2. Características toxicológicas

La Hexamina tiene sus principales riesgos en la exposición por inhalación y por ingestión, ya que las partículas suspendidas en el aire pueden alcanzar muy rápidamente una concentración nociva. La exposición crónica por vía inhalatoria puede causar asma.

El contacto dérmico, aunque no penetra por esta vía, puede causar irritación de la piel y de los ojos pudiendo causar en exposiciones crónicas sensibilización de la piel.

Reacciona con ácidos fuertes generando formaldehído y, además, se descompone al arder generando sustancias muy tóxicas como el formaldehído, amoníaco, óxidos de carbono y de nitrógeno y ácido cianhídrico.

### 1.4.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP



**Combustible sólido categoría 2**

**Frase:** H228

Sólido inflamable



**Sensibilizante de la piel categoría 1B**

**Frase: H317**

Puede provocar una reacción alérgica en la piel

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

		Monoetilenglicol	Hexamina
<b>DINAMITAS</b>	<b>Goma 1</b>		
	<b>Riodin</b>		
	<b>Riodin 9</b>		
	<b>Explosivo de seguridad Nº 20</b>		
	<b>Ligamita 1</b>		
	<b>Amonita 2I</b>		
<b>ANFOS</b>	<b>Rioxam AL</b>		
	<b>Rioxam LP</b>		
	<b>Rioxam ST</b>		
	<b>Rioxam AL WR</b>		
<b>HIDROGELES</b>	<b>Riogel Kupula</b>	X	
	<b>Riogel troner Plus</b>	X	
	<b>Riogel troner Plus R</b>	X	
	<b>Riogel troner</b>	X	
	<b>Riogel troner R</b>	X	
	<b>Riogel ST</b>	X	X
	<b>Riogel XE</b>	X	X
	<b>Riogel HE</b>	X	X
	<b>Riogur F</b>	X	
	<b>Riogur R</b>	X	
	<b>Permigel 1</b>	X	
	<b>Riomax</b>	X	
	<b>EMULSIONES</b>	<b>Riomex UG</b>	
<b>Riomex 7000</b>			X
<b>Riomex 8000</b>			X
<b>Riohit</b>			X

**Tabla 1:** Resumen de materias primas contenidas en los explosivos

## 2. SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

Cuando nos referimos a sustancias explosivas, nos referimos a agentes químicos intrínsecamente explosivos, es decir, que con el estímulo adecuado son capaces de producir una detonación. La utilización de estas sustancias se limita al campo de los

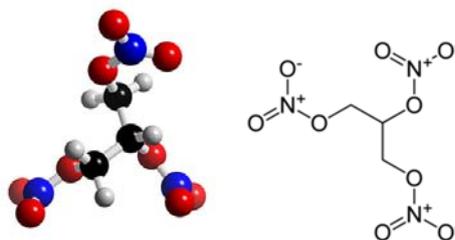
explosivos industriales convencionales a excepción de algunos agentes de voladura, sensibilizados con sustancias explosivas.

Por tanto, las sustancias explosivas han quedado relegadas a su uso como sensibilizantes y raramente en proporciones mayores de un 45 - 55% en peso, principalmente por su elevada potencia, elevado coste y la peligrosidad de su fabricación. La disminución de energía producida por una menor proporción de sustancias explosivas se suple con la presencia de combustibles, oxidantes y otros compuestos.

Las principales sustancias explosivas utilizadas para la fabricación de explosivos industriales son las siguientes:

- ◊ Nitroglicerina
- ◊ Nitroglicol
- ◊ Nitrocelulosa
- ◊ Trinitrotolueno
- ◊ Nitrato de monometilamina

## 2.1. Nitroglicerina



La Nitroglicerina es un éster nitrado líquido, derivado de la glicerina. Tiene un aspecto oleoso transparente o amarillento y constituye la sustancia explosiva por excelencia, ya que se ha usado desde el siglo XIX hasta la actualidad por sus excelentes propiedades. Sus principales inconvenientes son: la peligrosidad de su fabricación (proceso descrito en el capítulo anterior) y la enorme sensibilidad al impacto.

### 2.1.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Nitroglicerina son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>3</sub>H<sub>5</sub>N<sub>3</sub>O<sub>9</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	55-63-0
<b>Peso molecular</b>	227.1 g/mol
<b>Densidad</b>	1.59 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	13 °C
<b>Punto de ebullición</b>	explosión
<b>Balance de oxígeno</b>	+3.52 %

### 2.1.2. Características toxicológicas

La Nitroglicerina es un potente vasodilatador y se puede absorber por todas las vías, inhalatoria, dérmica y digestiva. En contacto con los ojos puede causar enrojecimiento

y dolor y mediante la penetración por cualquiera de las vías, por exposición aguda puede causar efectos a nivel cardiovascular y en la sangre, disminuyendo la presión sanguínea, provocando un colapso circulatorio y formación de metahemoglobina en grandes cantidades. Los síntomas pueden ser dolor de cabeza, náuseas, vómitos, calambres abdominales, vértigo, piel, labios o uñas azulados y dificultad respiratoria.

La exposición crónica puede producir sensibilización de la piel y tolerancia a la sustancia, por lo que una interrupción repentina de la exposición puede causar la muerte súbita del trabajador.

Su volatilidad no es muy elevada, sin embargo, si se produce la dispersión en forma de aerosol pueden alcanzarse concentraciones nocivas en aire.

El vertido de este compuesto tiene una severa toxicidad para los organismos acuáticos.

### 2.1.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

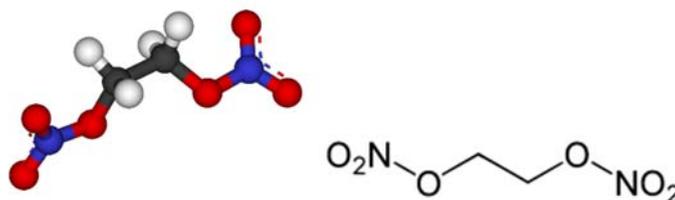
	<b>Explosivo inestable</b>	<b>Frase:</b> H200 Explosivo inestable
	<b>Toxicidad aguda categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H300 Mortal en caso de ingestión
	<b>Toxicidad aguda categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H310 Mortal en contacto con la piel
	<b>Toxicidad aguda categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H330 Mortal en caso de inhalación
	<b>Daño a órganos específicos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H373 Puede provocar daños en los órganos (sistema circulatorio) tras exposiciones prolongadas o repetidas
	<b>Tóxico crónico para organismos acuáticos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H411 Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 0.5 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 2.2. Nitroglicol



El Nitroglicol es un éster nitrado líquido derivado del Monoetilenglicol que se fabrica de manera análoga a la Nitroglicerina, de hecho se suelen utilizar mezclas Monoetilenglicol/glicerina para su posterior nitración. Tiene un aspecto oleoso transparente y durante años ha sustituido total o parcialmente a la nitroglicerina por sus propiedades explosivas y químicas similares, pero su menor punto de fusión y balance de oxígeno neutro. El principal inconveniente es su mayor volatilidad con respecto a la Nitroglicerina lo que hace que presente una mayor toxicidad.

En la actualidad el uso de Nitroglicol está desapareciendo en beneficio de la Nitroglicerina.

### 2.2.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Nitroglicol son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>N<sub>2</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	628-96-6
<b>Peso molecular</b>	152.1 g/mol
<b>Densidad</b>	1.49 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	-22.3 °C
<b>Punto de ebullición</b>	114 °C explosión
<b>Balance de oxígeno</b>	0 %

### 2.2.2. Características toxicológicas

El Nitroglicol se puede absorber por todas las vías, inhalatoria, dérmica y digestiva pudiéndose alcanzar concentraciones nocivas en aire rápidamente debido a su volatilidad, 150 veces mayor que la Nitroglicerina.

La penetración por cualquiera de las vías por exposición aguda puede causar efectos a nivel cardiovascular, disminuyendo la presión sanguínea. Los síntomas pueden no aparecer de forma inmediata y son: dolor de cabeza, vértigo, náuseas y debilidad.

La exposición crónica puede producir daños en el sistema cardiovascular.

### 2.2.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP



**Explosivo Inestable**

**Frase: H200**

Explosivo inestable

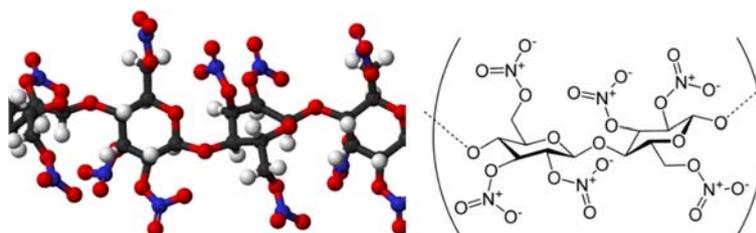
	<b>Toxicidad aguda categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H300 Mortal en caso de ingestión
	<b>Toxicidad aguda categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H310 Mortal en contacto con la piel
	<b>Toxicidad aguda categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H330 Mortal en caso de inhalación
	<b>Daño a órganos específicos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H373 Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 0.3 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 2.3. Nitrocelulosa



La Nitrocelulosa es otro éster nitrado con aspecto de fibras blancas análogas a la celulosa de la que deriva. La Nitrocelulosa puede tener diversos porcentajes de Nitrógeno, siendo potencialmente explosiva con valores superiores a 12.6 %. Es prácticamente insoluble en agua y esto es lo que permite que se pueda transportar cubierta totalmente de agua, ya que ejerce un efecto flegmatizante.

Para la fabricación de explosivos industriales se utilizan Nitrocelulosas con contenidos entre 12.3 y 12.8% de Nitrógeno y se emplean principalmente por su efecto gelatinizante en combinación con la nitroglicerina y también por sus grandes cualidades explosivas.

### 2.3.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Nitrocelulosa son las siguientes:

Fórmula	<b>C<sub>12</sub>H<sub>16</sub>(ONO<sub>2</sub>)<sub>4</sub>O<sub>6</sub></b>
Nº CAS	9004-70-0
Peso molecular	504.3 g/mol

Densidad	1.67 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	160-170 °C (arde)
Balance de oxígeno	-28.70 % (13.3%N)
Volumen de gases	871 l/kg (13.3%N)

### 2.3.2. Características toxicológicas

El contacto de la Nitrocelulosa con los ojos puede causar irritación y enrojecimiento. Al ser un sólido insoluble en agua no se absorbe por las paredes intestinales ni por las membranas celulares.

En caso de incendio se produce la emisión de vapores tóxicos e irritantes.

### 2.3.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

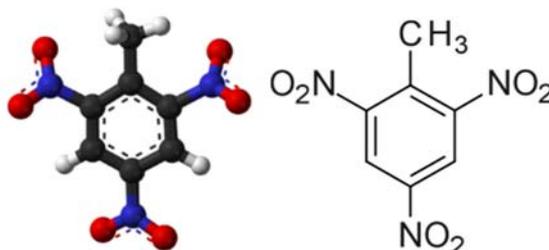
	<b>Explosivo</b>	<b>Frase:</b> H201
		Explosivo; Peligro de explosión en masa

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 2.4. Trinitrotolueno



El Trinitrotolueno es un nitroderivado sólido, de aspecto cristalino y de color amarillo obtenido mediante nitración del Tolueno. La aplicación industrial de este explosivo es limitada, ya que siempre ha estado ligado al uso militar, sin embargo, forma parte de la composición de casi todos los explosivos pulverulentos actuando como sensibilizante, solo o en compañía de Nitroglicerina. También puede estar presente en algunos Hidrogeles.

Este explosivo posee buenas características explosivas y es poco sensible a estímulos exteriores, por lo que su transporte es bastante seguro, lo que conlleva que no sea necesaria su fabricación in situ y, por ello, es muy utilizado en el ámbito militar.

### 2.4.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Trinitrotolueno son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>6</sub>H<sub>2</sub>(CH<sub>3</sub>)(NO<sub>2</sub>)<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	<b>118-96-7</b>
<b>Peso molecular</b>	<b>227.1 g/mol</b>

<b>Densidad</b>	1.65 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	80.1 °C
<b>Punto de ebullición</b>	240 °C (se descompone)
<b>Balance de oxígeno</b>	-73,9%
<b>Volumen de gases</b>	825 l/kg

#### 2.4.2. Características toxicológicas

El Trinitrotolueno puede absorberse por todas las vías de exposición, es decir, por inhalación, por contacto dérmico y por ingestión. Al ser un sólido cristalino puede alcanzar concentraciones elevadas en aire y su inhalación puede tener efectos agudos irritantes en el tracto respiratorio. En la sangre puede dar lugar a hemólisis y a la formación de metahemoglobina. La exposición aguda puede causar la muerte y los efectos como calambres abdominales, labios o uñas azulados, piel azulada, tos, dolor de cabeza, dificultad respiratoria y vómitos pueden presentarse de forma inmediata.

Puede absorberse por vía dérmica y además produce irritación y dolor sobre la piel y los ojos además de los síntomas antes mencionados. También produce fragilidad capilar provocando hemorragias en la piel y mucosas.

En la exposición crónica el Trinitrotolueno puede afectar al hígado, la sangre y a los ojos produciendo ictericia, anemia y cataratas.

El vertido de este compuesto tiene una severa toxicidad para los organismos acuáticos

#### 2.4.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Explosivo</b>	<b>Frase:</b> H201 Explosivo; Peligro de explosión en masa
	<b>Toxicidad aguda categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H301 Tóxico en caso de ingestión
	<b>Toxicidad aguda categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H311 Tóxico en contacto con la piel
	<b>Toxicidad aguda categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H331 Tóxico en caso de inhalación
	<b>Daño a órganos específicos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H373 Puede provocar daños en los órganos (sistema nervioso, hígado, sistema circulatorio y ojos) tras exposiciones prolongadas o repetidas



**Tóxico crónico para organismos acuáticos categoría 2**

**Frase: H411**

Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 0.1 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): 1,5% de metahemoglobina en hemoglobina total (en Sangre al final de la jornada laboral).

## 2.5. Nitrato de monometilamina



El Nitrato de monometilamina es un sólido cristalino incoloro derivado de la monometilamina. Se suele utilizar en disoluciones en torno al 80% y su uso viene dado principalmente por dos características concretas: su poca sensibilidad al impacto y su higroscopicidad. Éstas son las que hace que sea un candidato perfecto para su uso como sensibilizante en Hidrogeles explosivos, ya que, su uso es muy seguro (con más de un 14% de agua no detona sin el estímulo de una onda de choque) y permite su completa disolución en agua.

También cabe destacar que aunque no tenga unas características explosivas excelentes sí que genera, en su detonación, un muy elevado volumen de gases, aumentando el poder rompedor de los hidrogeles que lo contengan como sensibilizante.

### 2.5.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Nitrato de monometilamina son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>CH<sub>5</sub>N.HNO<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	22113-87-7
<b>Peso molecular</b>	94.1 g/mol
<b>Densidad</b>	1.24 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	24.5 °C
<b>Punto de ebullición</b>	126 °C
<b>Balance de oxígeno</b>	-34,0%
<b>Volumen de gases</b>	1121 l/kg

### 2.5.2. Características toxicológicas

La toxicidad de este compuesto por ingestión, inhalación o por absorción de la piel no es importante, ya que al ser tan hidrosoluble no llega a penetrar en el organismo, sin embargo, sí que puede causar daños en la piel y los ojos. En pocos minutos puede

cambiar el color de la piel y en días producir necrosidades. En contacto con los ojos no es tan agresivo pero sí que provoca serios daños.

### 2.5.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Explosivo</b>	<b>Frase:</b> H205 Peligro de explosión en masa en caso de incendio
---	------------------	--

	<b>Corrosivo de la piel categoría 1A</b>	<b>Frase:</b> H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
---	--	--

	<b>Dañino para los ojos categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H318 Provoca lesiones oculares graves
---	---	--

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

		Nitroglicerina	Nitroglicol	Nitrocelulosa	Trinitrotolueno	Nitrato de monometilamina
<b>DINAMITAS</b>	Goma 1	X		X	X	
	Riodin	X	X	X		
	Riodin 9		X	X		
	Explosivo de seguridad Nº 20	X		X		
	Ligamita 1	X		X	X	
	Amonita 2I	X		X	X	
<b>ANFOS</b>	Rioxam AL					
	Rioxam LP					
	Rioxam ST					
	Rioxam AL WR					
<b>HIDROGELES</b>	Riogel Kupula					X
	Riogel troner Plus					X
	Riogel troner Plus R					X
	Riogel troner					X
	Riogel troner R					X
	Riogel ST					
	Riogel XE					
	Riogel HE					
	Riogur F					X
	Riogur R					X

	Permigel 1					X
	Riomax					X
EMULSIONE	Riomex UG					
	Riomex 7000					
	Riomex 8000					
	Riohit					

**Tabla 2:** Resumen de las sustancias explosivas contenidas en los explosivos

### 3. COMBUSTIBLES

Los combustibles tienen como función proporcionar una mayor energía en la reacción de detonación, ya que, el contacto íntimo entre oxidantes y combustibles provoca una alta liberación de energía cuando se desencadena la reacción de detonación. No obstante, en los explosivos industriales convencionales, la presencia de combustibles finamente molidos puede disminuir sustancialmente la cantidad de sustancias explosivas, sin que se produzca una pérdida de potencia sensible, abaratando su producción y mejorando su seguridad. En los agentes de voladura la dispersión de partículas de combustible en el seno de una solución saturada de oxidantes es la que permite que, mediante el estímulo necesario, se produzca la detonación.

Por tanto combustibles, oxidantes y las sustancias explosivas constituyen los pilares de los explosivos industriales.

Los principales compuestos combustibles que se utilizan en la fabricación de explosivos son principalmente líquidos, aunque también se utilizan combustibles sólidos muy finamente molidos. Los estudiados en este trabajo son:

- ◊ Gasóleo
- ◊ Aluminio grado pintura
- ◊ Nitrato de Hexamina
- ◊ Cera de parafina
- ◊ Aceite mineral

#### 3.1. Gasóleo

El gasóleo es el principal de los combustibles utilizados en las mezclas tipo ANFO, debido al carácter sensibilizante que ejerce con el Nitrato amónico. Forma parte de la mezcla combustible en la gran mayoría de los agentes de voladura.

Este combustible es una mezcla compleja de hidrocarburos que se obtienen mediante el fraccionamiento de los destilados procedentes de la fracción intermedia de crudo hidrosulfurada térmicamente. Está constituido principalmente por hidrocarburos con entre 11 y 25 carbonos, por lo que no tiene una estructura ni composición química fija,

es una mezcla de diversos compuestos que tienen unas propiedades características, aunque pueden diferir ligeramente dependiendo de los tipos de crudo.

### 3.1.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Gasóleo son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>12</sub>H<sub>23</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	85116-53-6
<b>Peso molecular</b>	variable
<b>Densidad</b>	0.816 - 0.993 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	-20 °C
<b>Punto de ebullición</b>	150 - 411 °C

### 3.1.2. Características toxicológicas

El Gasóleo reseca e irrita la piel en contacto prolongado y produce irritación ocular en contacto con los ojos, por lo que se aconseja mantener alejado de la ropa y lavarse exhaustivamente después de su manipulación para evitar contactos indeseados.

Su volatilidad no es muy elevada, sin embargo, la inhalación de los vapores emitidos puede causar vértigos, náuseas o dolor de cabeza en su exposición aguda. En cuanto a la exposición crónica puede dañar irreversiblemente órganos como el hígado y el timo y afectar a la sangre, además, es un posible carcinógeno y puede afectar al feto.

La ingestión de este compuesto tiene un efecto nocivo ocasionando vértigos, náuseas o dolor de cabeza y puede causar una neumonitis química si penetra por aspiración en los pulmones.

El vertido de este compuesto tiene una severa toxicidad para los organismos acuáticos.

### 3.1.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Combustible líquido categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H226 Líquido y vapores inflamables
	<b>Irritante de la piel categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H315 Provoca irritación cutánea
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase:</b> H332 Nocivo en caso de inhalación
	<b>Toxicidad por aspiración categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H304 Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

	<b>Carcinógeno categoría 1B</b>	<b>Frase:</b> H350 Líquido y vapores inflamables
	<b>Tóxico reproductivo categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H361f Se sospecha que daña al feto
	<b>Daño a órganos específicos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H373 Puede provocar daños en los órganos (hígado, timo y sangre) tras exposiciones prolongadas o repetidas
	<b>Tóxico agudo para organismos acuáticos categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H400 Muy tóxico para los organismos acuáticos
	<b>Tóxico crónico para organismos acuáticos categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H410 Muy tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

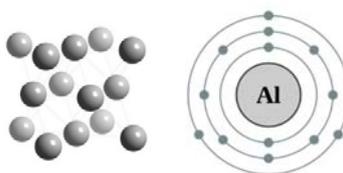
Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

Observaciones: ACGIH: TWA: 100 mg/m<sup>3</sup>

### 3.2. Aluminio grado pintura



El Aluminio grado pintura tiene un aspecto de polvo blanco o gris y se utiliza, principalmente, en los agentes de voladura con una doble intención: actuar como combustible, aumentando el calor de explosión y alcanzando mayores temperaturas de detonación y formar puntos calientes que mantienen la reacción de detonación.

Es uno de los metales más abundantes en la corteza terrestre aunque también puede obtenerse por síntesis química mediante procesos electrolíticos.

#### 3.2.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Aluminio son las siguientes:

Fórmula	Al
---------	----

<b>Nº CAS</b>	7429-90-5
<b>Peso molecular</b>	26.98 g/mol
<b>Densidad</b>	2.7 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	660 °C
<b>Punto de ebullición</b>	2327 °C

### 3.2.2. Características toxicológicas

La principal vía de exposición de este compuesto es la inhalatoria ya que, aunque es sólido, el aire cargado de partículas de Aluminio puede producir daños en los pulmones y el sistema nervioso, dando lugar a disfunciones, también puede producir irritación en la piel y a los ojos cuando hay contacto.

### 3.2.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Combustible sólido categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H228 Sólido inflamable
	<b>Reacción con agua generando gases inflamables categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H261 En contacto con el agua desprende gases inflamables

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 10 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 3.3. Nitrato de Hexamina (Hexamina & Ácido Nítrico)

El Nitrato de Hexamina es un sólido cristalino que se utiliza casi exclusivamente para su uso en hidrogeles a granel como combustible y como sensibilizante. Esto se debe, en gran parte, a la poca complejidad de obtención de este compuesto y al hecho de que no está considerado como explosivo. Estas características son una ventaja para su utilización a granel, en comparación con el otro sensibilizante mayormente utilizado, el Nitrato de monometilamina.

Es muy difícil encontrar información de sus características. Esta dificultad radica en que su síntesis se puede realizar únicamente con un mezclador simple, por tanto, lo que tenemos en el seno de la composición del hidrogel es Nitrato de Hexamina, pero en etapas anteriores (obtención de la matriz Rioflex) se obtuvo mediante Ácido Nítrico y Hexamina.

Aunque para el cálculo del riesgo se va a utilizar el Nitrato de Hexamina por tener información de sus frases H, es conveniente ver y en el apartado 1.4. Hexamina y en el apartado 5.1. Ácido nítrico.

### 3.3.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Nitrato de Hexamina son las siguientes:

<b>Fórmula general</b>	<b>C<sub>6</sub>H<sub>13</sub>N<sub>5</sub>O<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	<b>18423-20-6</b>
<b>Peso molecular</b>	<b>203.19 g/mol</b>

### 3.3.2. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Tóxico crónico para organismos acuáticos categoría 3</b>	<b>Frase: H412</b>
		Nocivo para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

### 3.4. Cera de parafina

La cera de parafina es un sólido blanco o ligeramente amarillento, inodoro, que se obtiene a partir del petróleo. Está constituida por una mezcla de hidrocarburos de alto peso molecular, principalmente por alcanos saturados. Su uso en la industria de los explosivos se limita a las emulsiones explosivas, formando parte de la solución reductora de hidrocarburos.

#### 3.4.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la cera de parafina son las siguientes:

<b>Fórmula general</b>	<b>C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	<b>8002-74-2</b>
<b>Peso molecular</b>	<b>350-420 g/mol</b>
<b>Densidad</b>	<b>~0.9 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Punto de fusión</b>	<b>46-68 °C</b>
<b>Punto de ebullición</b>	<b>&gt;370 °C</b>

#### 3.4.2. Características toxicológicas

Las parafinas no pueden ser absorbidas por ninguna de las vías de exposición y son consideradas como no tóxicas, aunque en alguna ocasión pueden contener pequeñas cantidades de impurezas potencialmente carcinógenas. La ingestión de parafinas puede producir efectos laxantes.

La generación de humos de cera de parafina produce irritación de los ojos, nariz y garganta.

#### 3.4.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

No presenta frases H.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 2 mg/m<sup>3</sup> para los humos

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 3.5. Aceite mineral

El aceite mineral es una compleja combinación de hidrocarburos obtenidos mediante procesos complejos de refinado del petróleo utilizando ácido sulfúrico y óleum o por hidrogenación del crudo. Tiene un aspecto oleoso transparente o blancuzco y está formado principalmente por alcanos y parafinas cíclicas.

Se utiliza en las emulsiones explosivas, al igual que la cera de parafina, en la fase reductora formada por hidrocarburos que constituyen la fase continua de la emulsión.

#### 3.5.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Aceite mineral son las siguientes:

<b>Nº CAS</b>	<b>8042-47-5</b>
<b>Densidad</b>	0.81-0.89 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	-60 y -9 °C
<b>Punto de ebullición</b>	218 - 643 °C

#### 3.5.2. Características toxicológicas

La exposición al Aceite mineral por vía dérmica o inhalatoria (siempre que no se produzcan nieblas por calentamiento del aceite) no son importantes, ya que no es irritante de la piel o de los ojos ni tiene una elevada volatilidad, sin embargo, su ingestión puede causar diarrea y neumonitis química en caso de penetración en los pulmones durante su ingestión.

#### 3.5.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Toxicidad por aspiración categoría 1</b>	<b>Frase: H304</b> Puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.
---	---	--

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 5 mg/m<sup>3</sup> para las nieblas

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): 10 mg/m<sup>3</sup> para las nieblas

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

		Gasóleo	Aluminio G.P	Nitrato de Hexamina	Cera de parafina	Aceite mineral
<b>DINAMITAS</b>	<b>Goma 1</b>					
	<b>Riodin</b>					
	<b>Riodin 9</b>					
	<b>Explosivo de seguridad Nº 20</b>					
	<b>Ligamita 1</b>					
	<b>Amonita 2I</b>					
<b>A</b>	<b>Rioxam AL</b>	X	X			

	<b>Rioxam LP</b>	X				
	<b>Rioxam ST</b>	X				
	<b>Rioxam AL WR</b>	X	X			
<b>HIDROGELES</b>	<b>Riogel Kupula</b>		X			
	<b>Riogel troner Plus</b>		X			
	<b>Riogel troner Plus R</b>		X			
	<b>Riogel troner</b>		X			
	<b>Riogel troner R</b>		X			
	<b>Riogel ST</b>				X	
	<b>Riogel XE</b>		X	X		
	<b>Riogel HE</b>		X	X		
	<b>Riogur F</b>		X			
	<b>Riogur R</b>		X			
	<b>Permigel 1</b>		X			
	<b>Riomax</b>		X			
<b>EMULSIONES</b>	<b>Riomex UG</b>	X	X	X	X	X
	<b>Riomex 7000</b>	X	X	X	X	X
	<b>Riomex 8000</b>	X	X	X	X	X
	<b>Riohit</b>	X	X	X	X	X

**Tabla 3:** Resumen combustibles contenidos en los explosivos

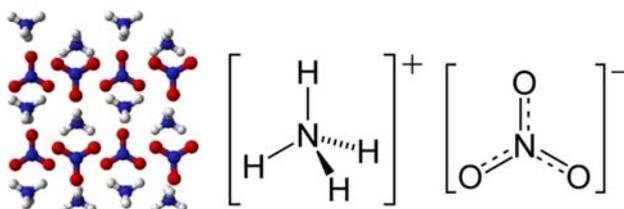
## 4. OXIDANTES

Las principales funciones de estos compuestos es proporcionar el oxígeno suficiente para que la reacción de detonación no sea deficitaria en oxígeno, es decir, que tenga un balance de oxígeno positivo (de este modo, no es necesaria la presencia de oxígeno exterior para que se mantenga la reacción y se produce una menor cantidad de gases nocivos), disminuir el punto de cristalización y aumentar la densidad de la mezcla.

Los principales compuestos oxidantes que se utilizan en la fabricación de explosivos son nitratos y percloratos, los cuales se caracterizan por tener balances de oxígeno positivos. Los estudiados en este trabajo son:

- ◊ Nitrato amónico técnico
- ◊ Nitrato sódico
- ◊ Perclorato sódico

### 4.1. Nitrato amónico técnico



El Nitrato amónico es el principal componente de todos los explosivos industriales modernos y se obtiene mediante la neutralización del Ácido Nítrico con Amoniaco, en una reacción poderosamente exotérmica. Mediante esta reacción se obtiene una sal incolora, que se utiliza principalmente como fertilizante. Para su uso en los explosivos, es necesario que sufra un procesado posterior para obtener las características deseadas, convirtiéndolo en un sólido poroso en forma de prills de color blanco. Presenta una gran higroscopicidad.

#### 4.1.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Nitrato amónico son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	6484-52-2
<b>Peso molecular</b>	80 g/mol
<b>Densidad</b>	1.72 g/cm <sup>3</sup>
<b>Calor específico</b>	1.70 J/gK
<b>Punto de fusión</b>	169.6 °C
<b>Punto de ebullición</b>	> 210 °C
<b>Volumen de gas</b>	980 l/kg
<b>Balance de oxígeno</b>	+19.00 %

#### 4.1.2. Características toxicológicas

Los efectos toxicológicos del Nitrato amónico principalmente se focalizan de manera cutánea, ya que provoca una irritación ocular grave.

Si en el ambiente existe una cantidad elevada de polvo de Nitrato amónico, éste puede provocar irritación de la garganta y tos. La ingestión de grandes cantidades puede provocar dolor abdominal, vómitos y diarrea. En su exposición prolongada puede afectar al torrente sanguíneo causando metahemoglobinemia.

A elevada temperatura puede descomponerse generando productos tóxicos como óxidos de nitrógeno o amoniaco, por lo que se deben cuidar las condiciones de almacenamiento.

#### 4.1.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

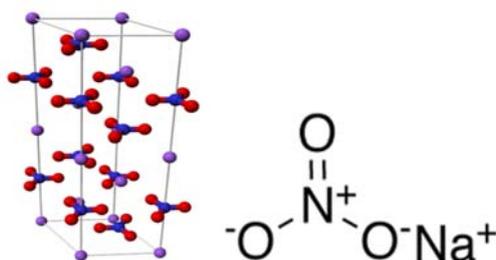
	<b>Oxidante sólido categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H272 Puede agravar un incendio. Comburente
	<b>Irritante de los ojos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H319 Provoca irritación ocular grave

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 4.2. Nitrato Sódico



El Nitrato sódico es el principal componente de las pólvoras (que no son objeto de este estudio) pero también se utiliza como oxidante, acompañando al Nitrato amónico y al perclorato sódico. Se puede encontrar en la naturaleza, aunque se presenta exclusivamente en Chile y también puede sintetizarse a partir de Ácido Nítrico y Carbonato sódico.

Originalmente es una sal incolora, al igual que el Nitrato amónico, y de manera análoga a éste, para la fabricación de explosivos se procesa obteniendo una apariencia de gránulos blancos. Es ligeramente menos higroscópico que el Nitrato amónico.

### 4.2.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Nitrato sódico son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>NaNO<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	7631-99-4
<b>Peso molecular</b>	84.99 g/mol
<b>Densidad</b>	2.265 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	308 °C
<b>Punto de ebullición</b>	380 °C
<b>Balance de oxígeno</b>	+ 47.10 %

### 4.2.2. Características toxicológicas

Los efectos tóxicos del Nitrato sódico son muy similares a los producidos por el Nitrato amónico provocando irritación ocular y dérmica

En caso de una alta proporción de polvo de Nitrato sódico en aire éste puede provocar irritación, dificultad respiratoria y tos. La ingestión de grandes cantidades puede provocar dolor abdominal, vómitos, dolor de cabeza y diarrea. En su exposición prolongada puede afectar al torrente sanguíneo causando metahemoglobinemia.

A elevada temperatura puede descomponerse generando óxidos de nitrógeno y oxígeno, aumentando la toxicidad y la posibilidad de que se produzca un incendio.

### 4.2.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP



**Oxidante sólido  
categoría 3**

**Frase: H272**

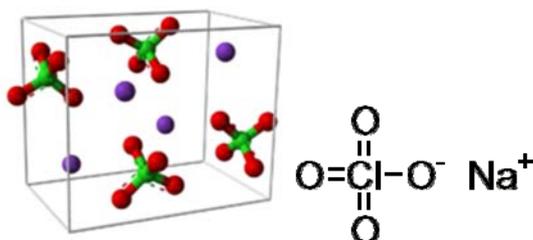
Puede agravar un incendio. Comburente

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 4.3. Perclorato Sódico



El Perclorato sódico se utiliza al igual que el Nitrato sódico acompañando al Nitrato amónico en una mezcla de sales oxidantes, siempre en bajas proporciones. Se obtiene por síntesis química disolviendo Carbonato sódico en presencia de Ácido perclórico ligeramente en exceso. Su aspecto es de cristales (o polvo) blancos y posee mayor higroscopicidad que el Nitrato amónico.

#### 4.3.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Perclorato sódico son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>NaClO<sub>4</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	7601-89-0
<b>Peso molecular</b>	122.44 g/mol
<b>Densidad</b>	2.53 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	473 °C
<b>Punto de ebullición</b>	480 °C
<b>Balance de oxígeno</b>	+ 52.30 %

#### 4.3.2. Características toxicológicas

El Perclorato sódico por exposición aguda puede causar irritación y dolor ocular y cutáneo y en caso de una alta proporción de partículas de Perclorato sódico en aire éste puede provocar irritación, dificultad respiratoria y tos. En su exposición prolongada puede afectar al torrente sanguíneo causando metahemoglobinemia.

La ingestión de este compuesto causa una irritación del tracto digestivo, produciendo dolor abdominal.

A elevada temperatura puede descomponerse generando óxidos de cloro y cloro, aumentando la toxicidad del compuesto.

#### 4.3.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP



**Oxidante sólido**  
categoría 3

**Frase:** H271

Puede agravar un incendio. Muy comburente



Frase: H302

Nocivo en caso de ingestión

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

		Nitrato amónico	Nitrato sódico	Perclorato sódico
<b>DINAMITAS</b>	<b>Goma 1</b>	X		
	<b>Riodin</b>	X		
	<b>Riodin 9</b>	X		
	<b>Explosivo de seguridad Nº 20</b>		X	
	<b>Ligamita 1</b>	X		
	<b>Amonita 2I</b>	X		
<b>ANFOS</b>	<b>Rioxam AL</b>	X		
	<b>Rioxam LP</b>	X		
	<b>Rioxam ST</b>	X		
	<b>Rioxam AL WR</b>	X		
<b>HIDROGELES</b>	<b>Riogel Kupula</b>	X		
	<b>Riogel troner Plus</b>	X	X	
	<b>Riogel troner Plus R</b>	X		
	<b>Riogel troner</b>	X	X	
	<b>Riogel troner R</b>	X		
	<b>Riogel ST</b>	X	X	X
	<b>Riogel XE</b>	X	X	X
	<b>Riogel HE</b>	X	X	X
	<b>Riogur F</b>	X	X	
	<b>Riogur R</b>	X	X	
	<b>Permigel 1</b>	X	X	
	<b>Riomax</b>	X		X
<b>EMULSIONES</b>	<b>Riomex UG</b>	X		
	<b>Riomex 7000</b>	X		
	<b>Riomex 8000</b>	X		
	<b>Riohit</b>	X		X

Tabla 4: Resumen combustibles contenidos en los explosivos

## 5. ÁCIDOS REACTIVOS

Como se ha podido observar, la gran mayoría de los compuestos que le confieren sus principales características a los explosivos industriales, son compuestos nitrados, y para

que la reacción de nitración se lleve a cabo exitosamente son esenciales el Ácido Nítrico y el Óleum.

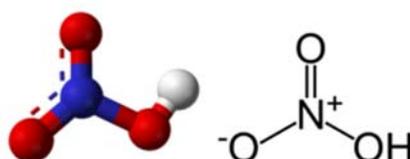
Para algunos compuestos como la Nitroglicerina y el Nitroglicol se utilizan mezclas de Ácido nítrico y Óleum, y en otros es suficiente la presencia del Ácido Nítrico, como en el caso del Nitrato de Hexamina o de Monometilamina.

Por tanto, los Ácidos constituyen parte fundamental de los agentes químicos necesarios para la fabricación de sustancias explosivas y de explosivos industriales. Para este trabajo únicamente nos interesa la fabricación de las sustancias explosivas, ya que los demás compuestos nitrados se pueden transportar directamente a fábrica como producto terminado.

Por tanto, como hemos comentado anteriormente los principales Ácidos utilizados en la fabricación de explosivos industriales son:

- ◊ Ácido nítrico
- ◊ Óleum

## 5.1. Ácido nítrico



El Ácido nítrico es un ácido fuerte cuyo aspecto es el de un líquido incoloro o amarillento de olor acre. En la naturaleza solo está presente en forma de sales nitradas pero mediante proceso industrial, se puede obtener de la siguiente manera: primeramente se realiza una oxidación catalítica del amoníaco con oxígeno atmosférico para producir monóxido de nitrógeno, posteriormente, se oxida el monóxido de nitrógeno a dióxido de nitrógeno y, por último, se absorbe el dióxido de nitrógeno para obtener Ácido nítrico.

Los principales usos del Ácido nítrico son el de la obtención de compuestos con altos contenidos en Nitrógeno (compuestos nitrados) para su uso como fertilizantes y para la fabricación de explosivos.

### 5.1.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Ácido nítrico son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>HNO<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	7697-37-2
<b>Peso molecular</b>	63.01 g/mol
<b>Densidad</b>	1.51 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	-41.59 °C
<b>Punto de ebullición</b>	82.60 °C

### 5.1.2. Características toxicológicas

La exposición al Ácido nítrico por cualquiera de las vías de exposición puede causar daños muy graves para la salud de manera local. Esta sustancia puede alcanzar concentraciones elevadas en el ambiente en un periodo corto de tiempo y los efectos de su inhalación pueden producir (de manera no inmediata) sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo y Dolor de garganta, ocasionando edema pulmonar.

En contacto con la piel o los ojos puede provocar graves quemaduras y dolor.

En sus efectos crónicos puede afectar a los pulmones y a los dientes, causando erosión dental.

La descomposición de la sustancia por calentamiento puede producir gases nocivos como los óxidos de nitrógeno.

### 5.1.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

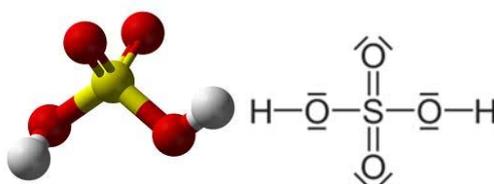
	<b>Oxidante líquido categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H272 Puede agravar un incendio; comburente
	<b>Corrosivo de la piel categoría 1A</b>	<b>Frase:</b> H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): 2.6 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 5.2. Óleum



El Óleum está constituido por una mezcla de Ácido Sulfúrico y Trióxido de Azufre normalmente en una proporción del 80% de Ácido sulfúrico. Por tanto, las principales características del compuesto corresponden al Ácido sulfúrico. El Óleum se produce industrialmente en torres de absorción donde los gases que contienen el Trióxido de azufre pasan a través del Ácido sulfúrico.

El Ácido sulfúrico es un ácido fuerte de aspecto líquido, incoloro y ligeramente viscoso. Es muy higroscópico y oxidante. Es uno de los ácidos más utilizados en la industria y para la fabricación de explosivos en mezclas con Ácido Nítrico y agua.

### 5.2.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Óleum son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.xSO<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	8014-95-7
<b>Peso molecular</b>	Depende de %SO <sub>3</sub>
<b>Densidad</b>	1.93 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	2.00 °C
<b>Punto de ebullición</b>	138 °C

### 5.2.2. Características toxicológicas

La exposición al Óleum en lo que a características toxicológicas se refiere se puede extrapolar a la del Ácido sulfúrico, es este caso dicha sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión, quedando en un segundo plano la vía dérmica. Los efectos agudos por inhalación son sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo y dolor de garganta pudiendo provocar un edema pulmonar.

En contacto con la piel o los ojos puede provocar graves quemaduras y dolor y por ingestión provoca quemazón, dolor abdominal y puede producir un shock.

En sus efectos crónicos puede afectar a los pulmones y a los dientes, causando erosión dental. Las nieblas de ácidos fuertes que contengan esta sustancia pueden ser carcinógenas.

La descomposición de la sustancia por calentamiento puede producir gases nocivos como los óxidos de azufre.

La sustancia es nociva para los organismos acuáticos.

### 5.2.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Corrosivo de la piel categoría 1A</b>	<b>Frase:</b> H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
	<b>Daño a órganos específicos por exposición aguda categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H335 Puede irritar las vías respiratorias (afecta al sistema respiratorio) vía inhalatoria

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 0.05 mg/m<sup>3</sup> (nieblas)

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 6. ESPESANTES

En la gran mayoría de los explosivos industriales se hace imprescindible la presencia de agentes espesantes, que otorguen un aspecto gelatinoso al compuesto para facilitar la producción industrial. En los explosivos industriales convencionales la presencia de

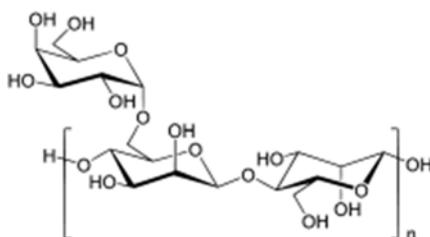
estos agentes es necesaria debido a la disminución del porcentaje de Nitroglicerina o Nitroglicol en la mezcla, en beneficio de combustibles y oxidantes, puesto que el efecto gelatinizante de los anteriores no es suficiente para la aglutinación de la mezcla.

En los agentes de voladura es fundamental la función de estos compuestos para proporcionar una consistencia útil para uso, ya que gran porcentaje de su composición es agua y, sin agentes espesantes, tendrían una consistencia líquida indeseable.

Los principales compuestos espesantes que son objeto de este estudio son los siguientes:

- ◇ Goma Guar
- ◇ Almidón
- ◇ Ácido adípico
- ◇ Dibutilftalato
- ◇ Harina

### 6.1. Goma Guar



La Goma Guar es un galactomanano perteneciente a la familia de los polisacáridos que se obtiene de la planta Guar. Este compuesto es un polvo blanco, que mezclado con agua tiene un aspecto de goma y se usa como espesante en multitud de aplicaciones industriales (industria alimentaria, farmacéutica, cosmética, etc.) y en los explosivos se utiliza principalmente en la fabricación de Hidrogeles.

#### 6.1.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Goma Guar son las siguientes:

<b>Fórmula empírica</b>	<b>C<sub>3.73</sub>H<sub>5.59</sub>O<sub>3.11</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	<b>9000-30-0</b>
<b>Peso molecular</b>	<b>100.1</b>

#### 6.1.2. Características toxicológicas

La Goma Guar no presenta una toxicología aguda o crónica representativa, únicamente puede causar irritación de los ojos y de las vías respiratorias en caso de su dispersión masiva en el aire o en caso de sensibilidad individual.

#### 6.1.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

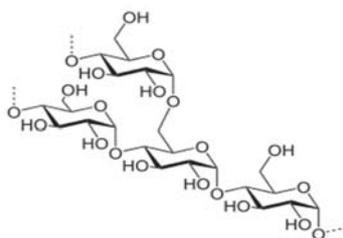
No presenta frases H

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 6.2. Almidón



El Almidón es otro polisacárido que se encuentra en numerosos vegetales como la patata, el maíz, el arroz, etc. y se utiliza para muchas aplicaciones industriales, sobre todo como aglutinante o espesante. El Almidón tiene aspecto de polvo blanco granulado y, principalmente, está compuesto de dos tipos de moléculas, amilosa y amilopectina.

Se usa al igual que la Goma Guar como aglutinante los hidrogeles para mejorar su densidad y consistencia gelatinosa pero también es un polvo combustible por lo que, además, influye en las propiedades de la fase combustible y sensibilizante.

### 6.2.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Almidón son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>(C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	9005-25-8
<b>Peso molecular</b>	variable
<b>Densidad</b>	1.5 g/cm <sup>3</sup>

### 6.2.2. Características toxicológicas

La consistencia pulverulenta del Almidón provoca que se pueda alcanzar muy rápidamente una concentración muy elevada de partículas en el aire. Aunque estas partículas no presentan una toxicidad elevada, sí que generan molestias respiratorias.

El contacto por vía dérmica del Almidón puede producir dermatitis.

### 6.2.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

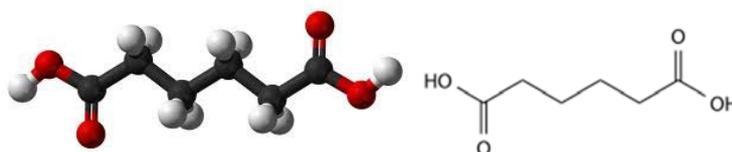
No presenta frases H

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 10 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 6.3. Ácido adípico



El Ácido adípico es un sólido cristalino incoloro e inodoro muy soluble en metanol, etanol, agua y acetona. Es un ácido carboxílico alifático y a nivel comercial es el más importante de su familia. Su producción industrial se realiza mediante oxidación de la ciclohexanona o del ciclohexanol o de una mezcla de ambos utilizando ácido nítrico.

En torno al 80% de la producción de este compuesto va destinada a su uso en la fabricación de nailon, fibras y resinas. También se utiliza como materia prima en la fabricación de plastificantes, lubricantes y resinas de poliuretano.

En cuanto a su uso en la fabricación de explosivos, es debido a la capacidad gelatinizante que posee. Principalmente se usa en los hidrogeles.

### 6.3.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Ácido adípico son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>4</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	124-04-9
<b>Peso molecular</b>	146.14 g/mol
<b>Densidad</b>	1.09 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	152.1 °C
<b>Punto de ebullición</b>	337.5 °C

### 6.3.2. Características toxicológicas

La vía de exposición principal del Ácido adípico es la inhalatoria por la dispersión de partículas en el aire. Los efectos agudos que presenta son: irritación de los ojos, produciendo enrojecimiento y dolor, e irritación del tracto respiratorio, pudiendo provocar reacciones asmáticas. Los principales síntomas son tos y dolor de garganta.

La exposición crónica a esta sustancia puede producir sensibilización por vía dérmica y por vía inhalatoria puede originar asma.

El calentamiento de esta sustancia puede producir humos tóxicos y corrosivos de ácido valérico y otras sustancias.

### 6.3.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

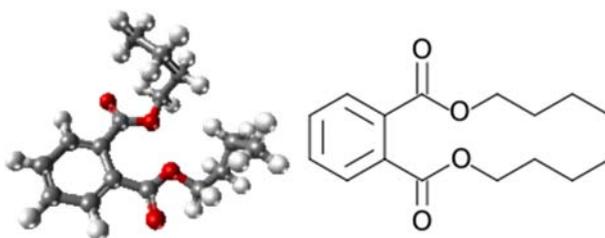
	<b>Irritante ocular categoría 2</b>	<b>Frase: H319</b> Provoca irritación ocular grave
---	-------------------------------------	---

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 5 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 6.4. Dibutilftalato



El Dibutilftalato es un líquido incoloro e insoluble en agua, pero soluble en la mayoría de los disolventes orgánicos más comunes. Este compuesto se obtiene a partir del anhídrido ftálico y alcoholes monohídricos.

El uso principal del Dibutilftalato es como plastificante y gelatinizante en los explosivos industriales, ya que su uso está bastante restringido a otros materiales, debido a su potencial carcinogénesis.

Se utiliza principalmente en las dinamitas y en los explosivos militares plásticos para mejorar su resistencia al agua, ya que al ser un plastificante impermeabiliza las moléculas del compuesto impidiendo la entrada del agua.

### 6.4.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Dibutilftalato son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>6</sub>H<sub>4</sub>(COOC<sub>4</sub>H<sub>9</sub>)<sub>2</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	<b>84-74-2</b>
<b>Peso molecular</b>	<b>278.3 g/mol</b>
<b>Densidad</b>	<b>1.05 g/cm<sup>3</sup></b>
<b>Punto de fusión</b>	<b>-35 °C</b>
<b>Punto de ebullición</b>	<b>340 °C</b>

### 6.4.2. Características toxicológicas

Las principales vías de exposición del Dibutilftalato son por inhalación y por ingestión, causando enrojecimiento y dolor, en contacto con los ojos. La volatilidad de la sustancia no es muy elevada, por lo que la peligrosidad radica en que las partículas de líquido se dispersen en el ambiente, creando un aerosol. Al arder puede generar humos tóxicos e irritantes.

La ingestión de este compuesto provoca diarrea, dolor abdominal, náuseas y vómitos.

La exposición prolongada a este compuesto puede causar efectos tóxicos para la reproducción humana.

El Dibutilftalato presenta una elevada toxicidad para los organismos acuáticos.

### 6.4.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

**Frase:** H360Df



**Tóxico reproductivo categoría 2**

Puede dañar al feto. Se sospecha que perjudica a la fertilidad.



**Tóxico para organismos acuáticos categoría 1**

**Frase: H400**

Tóxico para los organismos acuáticos.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 5 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 6.5. Harina

La Harina y se obtiene de una gran variedad de cereales. Es un sólido pulverulento blanco que se obtiene por molienda de los cereales (trigo, maíz, cebada, etc.), es muy utilizada en la industria alimenticia, sobre todo en la industria panadera. En la industria de los explosivos forma parte de la pasta explosiva y actúa como espesante.

### 6.5.1. Características toxicológicas

La Harina no presenta efectos tóxicos, aunque puede producir sensibilización y asma por exposición al polvo de harina.

### 6.5.2. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

No presenta frases H

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 4 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

		Goma Guar	Almidón	Ácido adípico	Dibutilftalato	Harina
<b>DINAMITAS</b>	<b>Goma 1</b>				X	X
	<b>Riodin</b>				X	X
	<b>Riodin 9</b>				X	X
	<b>Explosivo de seguridad Nº 20</b>				X	X
	<b>Ligamita 1</b>					X
	<b>Amonita 2I</b>					X
<b>ANFOS</b>	<b>Rioxam AL</b>					
	<b>Rioxam LP</b>					
	<b>Rioxam ST</b>					
	<b>Rioxam AL WR</b>					
<b>H</b>	<b>Riogel Kupula</b>	X	X	X		

	<b>Riogel troner Plus</b>	X	X	X		
	<b>Riogel troner Plus R</b>	X	X	X		
	<b>Riogel troner</b>	X	X	X		
	<b>Riogel troner R</b>	X	X	X		
	<b>Riogel ST</b>	X	X	X		
	<b>Riogel XE</b>	X	X	X		
	<b>Riogel HE</b>	X	X	X		
	<b>Riogur F</b>	X	X	X		
	<b>Riogur R</b>	X	X	X		
	<b>Permigel 1</b>	X	X	X		
	<b>Riomax</b>	X	X	X		
<b>EMULSIONES</b>	<b>Riomex UG</b>					
	<b>Riomex 7000</b>					
	<b>Riomex 8000</b>					
	<b>Riohit</b>					

**Tabla 5:** Resumen de los espesantes contenidos en los explosivos

## 7. OTROS ADITIVOS

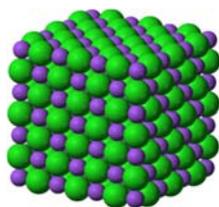
Como hemos ido comprobando a lo largo de este capítulo la composición de los explosivos industriales es bastante compleja, no tanto por la cantidad de agentes químicos que los conforman, sino por la amplia variedad de funciones que tienen cada uno de ellos.

Hemos llamado compuestos aditivos a aquellos que no son mayoritarios, es decir, sus composiciones no son mayores del 15% y no se pueden englobar en las categorías anteriores, ya que tienen funciones muy diferentes, como: incrementar la densidad del explosivo, disminuir su punto de cristalización, sensibilizarlo, gasificarlo o también formar parte de los procesos de fabricación de algunos compuestos.

Los compuestos aditivos que son objeto de este trabajo fin de máster son los siguientes:

- ◆ Cloruro sódico
- ◆ Cloruro amónico
- ◆ Carbonato de sodio
- ◆ Piroantimoniato de Potasio
- ◆ Acetato de potasio
- ◆ Tiourea
- ◆ Amoniaco
- ◆ Nitrito sódico
- ◆ Poliisobutileno succínico anhidro
- ◆ Monooleato de Sorbitan

## 7.1. Cloruro sódico



El Cloruro sódico o sal común es una sal cristalina incolora con una buena solubilidad en agua. Ésta, se puede encontrar en la naturaleza en yacimientos minerales (Halita) o en disolución (el agua del mar). La producción de sal básicamente explota estos dos campos la extracción de sal mediante métodos mineros y la evaporación de agua de mar en las salinas.

El cloruro sódico tiene múltiples aplicaciones en campos diversos y por tanto podemos encontrar distintos grados comerciales de Cloruro sódico: sal de mesa, sal para curaciones de alimentos, sal tratada para ablandamiento de aguas, tratamientos textiles, etc., sal industrial para producir otros compuestos o sal para derretir la nieve. En el caso de los explosivos, el Cloruro sódico actúa como sal inerte, por lo que disminuye las propiedades explosivas del compuesto impidiendo la formación de llama. Por ello se usa en los explosivos de seguridad para su uso en atmosferas potencialmente explosivas.

### 7.1.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Cloruro sódico son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>NaCl</b>
<b>Nº CAS</b>	7647-14-5
<b>Peso molecular</b>	58.44 g/mol
<b>Densidad</b>	2.16 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	801 °C
<b>Punto de ebullición</b>	1465 °C

### 7.1.2. Características toxicológicas

El Cloruro sódico no presenta ninguna toxicidad característica aunque si la concentración es elevada en el ambiente puede provocar irritación de la nariz y garganta.

Su contacto con la piel y los ojos puede causar enrojecimiento e irritación y soluciones muy concentradas pueden ser perjudiciales para los ojos.

La ingestión no presenta ningún efecto agudo, aunque de manera prolongada puede provocar hipertensión y alta frecuencia respiratoria.

### 7.1.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

**Frase:** H319



**Irritante de los ojos  
categoría 2**

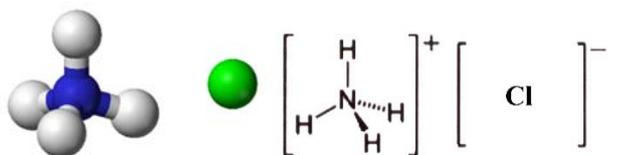
Provoca irritación ocular grave

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 7.2. Cloruro amónico



El Cloruro amónico es un sólido incoloro o blancuzco, higroscópico que se da en la naturaleza en bajas proporciones formando parte del material volcánico.

La producción de este compuesto se puede realizar mediante dos procesos, principalmente, uno de ellos es mediante el proceso Solvay de amoniaco-sosa y el otro es la reacción directa entre el amoniaco y el cloruro de hidrogeno.

Los principales usos del Cloruro amónico son como fertilizante, como electrolito sólido en baterías, en endurecedores, etc. En la industria de los explosivos se usa como componente de los explosivos de seguridad. La función de este compuesto en los explosivos de seguridad es la de reaccionar con el nitrato sódico produciendo, en la reacción, un intercambio iónico y generando en ella nitrato amónico y cloruro sódico, éste último, es el que actúa como inhibidor de la llama. De este modo el cloruro sódico esta extraordinariamente activo proporcionando mucha mayor seguridad que en aquellos explosivos, en los que éste último, forma parte de su composición. La reacción de intercambio iónico se activa por efecto de la energía desprendida por la Nitroglicerina.

### 7.2.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Cloruro amónico son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>NH<sub>4</sub>Cl</b>
<b>Nº CAS</b>	12125-02-9
<b>Peso molecular</b>	53.49 g/mol
<b>Densidad</b>	2.53 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	851 °C
<b>Punto de ebullición</b>	1600 °C

### 7.2.2. Características toxicológicas

El Cloruro amónico puede absorberse principalmente por vía inhalatoria o por vía digestiva. Puede alcanzarse rápidamente una concentración muy elevada de partículas en aire, produciendo en su exposición aguda: tos, irritación del tracto respiratorio y en

contacto con la piel y los ojos causa enrojecimiento e irritación. No presenta efectos en su exposición crónica, sin embargo, al calentarla o al arder, sí que produce gases muy tóxicos e irritantes como los óxidos de nitrógeno, amoníaco o cloruro de hidrógeno.

Por ingestión puede producir náuseas, dolor de garganta y vómitos.

### 7.2.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Irritante ocular categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H319 Provoca irritación ocular grave
---	-------------------------------------	---

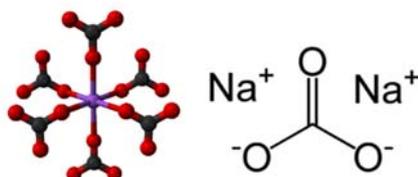
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase:</b> H302 Nocivo en caso de ingestión.
---	------------------------------------	--

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 10 mg/m<sup>3</sup> (humos)

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): 20 mg/m<sup>3</sup> (humos)

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 7.3. Carbonato de sodio



EL Carbonato de sodio es una sal neutra procedente del ácido carbónico. Este compuesto químico se conoce desde muy antiguo y es uno de las materias primas más utilizadas en la industria química. Es un sólido de color blanco que se obtiene por el proceso químico conocido como amoníaco-sosa en que se hace reaccionar cloruro sódico con carbonato amónico hidrogenado en solución acuosa.

Se utiliza en casi todas las ramas de la industria: química, siderúrgica, cerámica, vidriera, etc. En el mundo de los explosivos se utiliza, básicamente, para la obtención de nitroglicerina o nitroglicol como neutralizador en el proceso de separación del ácido residual.

#### 7.3.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Carbonato de sodio son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	497-19-8
<b>Peso molecular</b>	105.99 g/mol
<b>Densidad</b>	1.53 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de sublimación</b>	851 °C

### 7.3.2. Características toxicológicas

El Carbonato de sodio puede absorberse, principalmente, por vía inhalatoria o por vía digestiva. Puede alcanzarse rápidamente una concentración muy elevada de partículas en aire produciendo en su exposición aguda irritación del tracto respiratorio y, en contacto con la piel y los ojos, causa enrojecimiento e irritación. No presenta efectos en su exposición crónica, sin embargo, puede agravar problemas respiratorios crónicos como el asma, el enfisema pulmonar o la bronquitis. El contacto con la piel puede agravar las enfermedades existentes de la piel.

Por ingestión provoca irritaciones en mucosas de la boca, garganta, esófago y tracto intestinal.

### 7.3.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Irritante ocular categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H319 Provoca irritación ocular grave
---	---	---

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 7.4. Piroantimoniato de potasio

El Piroantimoniato de potasio es un sólido blanquecino, obtenido mediante calentamiento del pentaóxido de antimonio con un exceso de hidróxido de potasio. Estas sales de antimonio no tienen un uso masivo en la industria química, más allá de algunas aplicaciones concretas. En la fabricación de explosivos este compuesto forma parte de la composición del agente reticulante utilizado para mejorar la resistencia al agua de los hidrogeles.

#### 7.4.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Piroantimoniato de potasio son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>K<sub>4</sub>Sb<sub>2</sub>O<sub>7</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	29638-69-5
<b>Peso molecular</b>	511.92 g/mol
<b>Densidad</b>	3.34 g/cm <sup>3</sup>

#### 7.4.2. Características toxicológicas

El Piroantimoniato de Potasio puede alcanzar rápidamente una concentración elevada en aire, debido a que es un sólido granular. La principal vía de exposición es la dérmica, produciendo irritaciones, aunque no penetra en el organismo por esta vía. Los síntomas de la exposición crónica a este compuesto por ingestión o inhalación son: dolor de

cabeza, mareos, náuseas y vómitos, llegando a provocar incluso pérdidas de consciencia y afectando al sistema cardiovascular y respiratorio.

Por descomposición puede generar gases tóxicos tales como óxidos de antimonio.

Los compuestos de antimonio son contaminantes para los organismos acuáticos.

### 7.4.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

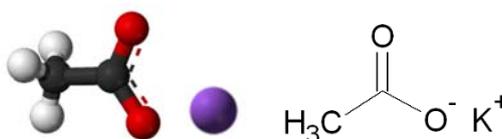
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase:</b> H302 Nocivo en caso de ingestión
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase:</b> H312 Nocivo en contacto con la piel
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase:</b> H332 Nocivo en caso de inhalación
	<b>Tóxico crónico para organismos acuáticos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H411 Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 0,5 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 7.5. Acetato de potasio



El Acetato de potasio es una sal de potasio derivada del Ácido acético con aspecto de polvo cristalino, que se obtiene tratando el ácido acético glacial con hidróxido de potasio. También puede ser preparado tratando directamente con el metal al Ácido acético.

Esta sal se utiliza en la industria farmacéutica para purificar la penicilina, como diurético y en la industria química como catalizador en la fabricación de poliuretano. En la industria de los explosivos forma parte, al igual que el Piroantimoniato, del agente reticulante que se añade a los hidrogeles para mejorar su resistencia al agua.

#### 7.5.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Acetato de potasio son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>.K</b>
<b>Nº CAS</b>	127-08-2
<b>Peso molecular</b>	98.14 g/mol
<b>Densidad</b>	1.80 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	292 °C
<b>Punto de ebullición</b>	392.35 °C

### 7.5.2. Características toxicológicas

El Acetato de potasio es una sustancia que apenas presenta toxicidad. En su exposición aguda puede provocar irritación de la piel, los ojos y el tracto respiratorio pero sin efectos nocivos ni crónicos.

Al descomponerse por calentamiento intenso, en contacto con ácidos fuertes, puede producir vapores de ácido acético.

### 7.5.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

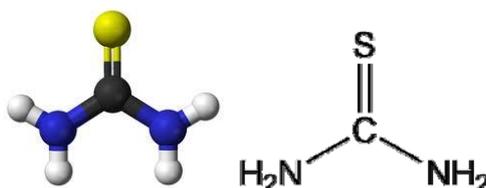
No presenta frases H

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 10 mg/m<sup>3</sup> (humos)

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): 20 mg/m<sup>3</sup> (humos)

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 7.6. Tiourea



La Tiourea es un compuesto que presenta mucho interés desde el punto de vista químico. Está formada por tautomería entre la tiourea y la isotiourea y presenta tres grupos funcionales: amino, imino y tiol. Es un sólido blanco e inodoro cuya síntesis química se realiza tratando cianamida cálcica técnica con sulfuro de hidrógeno o algún precursor de éste.

La Tiourea se utiliza en multitud de aplicaciones industriales como la producción de resinas sintéticas, en la producción de farmacéuticos, en agentes limpiadores industriales, etc. En la industria de los explosivos se utiliza como componente de los Hidrogeles, actuando como catalizador en la reacción entre el nitrito sódico y el nitrato amónico. Esta reacción produce una gasificación química formando burbujas de Nitrógeno.

### 7.6.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas de la Tiourea son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS</b>
----------------	---------------------------------------

<b>Nº CAS</b>	62-56-6
<b>Peso molecular</b>	76.12 g/mol
<b>Densidad</b>	1.41 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	180 °C

### 7.6.2. Características toxicológicas

La Tiourea presenta como principales vías de exposición la dérmica y la digestiva, pudiendo absorberse por vía dérmica. En su exposición aguda produce irritación de las mucosas, los ojos y el tracto respiratorio y en su exposición crónica puede provocar la sensibilización de la piel y tener efectos sobre la médula ósea dando lugar a anemia o bocio.

La tiourea es un posible carcinógeno para los humanos y su descomposición produce óxidos de azufre y de nitrógeno.

El vertido de este compuesto presenta toxicidad para los organismos acuáticos.

### 7.6.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

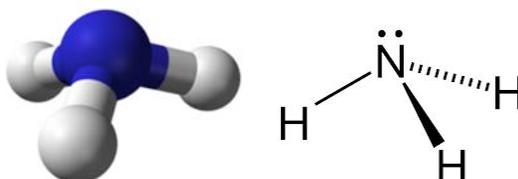
	<b>Toxicidad aguda categoría 4</b>	<b>Frase:</b> H302 Nocivo en caso de ingestión
	<b>Tóxico reproductivo categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H361 Se sospecha que perjudica la fertilidad o daña al feto (vía oral)
	<b>Cancerígeno categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H351 Se sospecha que provoca cáncer (vía oral)
	<b>Tóxico para organismos acuáticos categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H411 Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos nocivos duraderos.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 7.7. Amoniaco



El Amoniaco es una base fuerte que se presenta en estado gaseoso y tiene un olor acre. El principal método de obtención de amoniaco es el llamado Haber-Bosch, en el cual se produce una reacción directa entre el Hidrógeno y el Nitrógeno.

La mayor parte de la producción de amoniaco se utiliza para la obtención de fertilizantes y el resto se utiliza para la síntesis de otros compuestos como ácido nítrico, plásticos, resinas, etc.

En la industria de los explosivos aparte de su uso indirecto para la obtención de nitratos y del Ácido nítrico, se utiliza como aditivo en las aguas de lavado en la fabricación de Nitroglicerina.

### 7.7.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Amoniaco son las siguientes:

Fórmula	NH <sub>3</sub>
Nº CAS	7664-41-7
Peso molecular	17.03 g/mol
Densidad	0.7 g/cm <sup>3</sup>
Punto de fusión	-78 °C
Punto de ebullición	-33 °C

### 7.7.2. Características toxicológicas

La principal vía de exposición del Amoniaco es la inhalatoria pudiendo alcanzar muy rápidamente una concentración nociva en el aire, debido a su elevada volatilidad. La exposición por inhalación produce sensación de quemazón, tos, dificultad respiratoria, jadeo y dolor de garganta, ya que es una sustancia muy corrosiva, aunque los efectos no se producen de manera inmediata. Altas concentraciones pueden causar edema pulmonar.

En contacto con la piel y los ojos puede provocar enrojecimiento, quemaduras, dolor y ampollas.

El vertido de este compuesto presenta una elevada toxicidad para los organismos acuáticos.

### 7.7.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

	<b>Combustible gaseoso categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H221 Gas inflamable
	<b>Gas licuado</b>	<b>Frase:</b> H280 Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento.

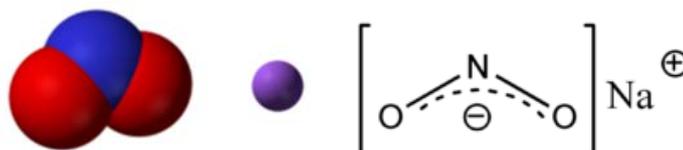
	<b>Corrosivo de la piel categoría 1B</b>	<b>Frase:</b> H314 Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves.
	<b>Toxicidad aguda categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H331 Tóxico en caso de inhalación
	<b>Tóxico para organismos acuáticos categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H400 Muy tóxico para los organismos acuáticos.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): 14 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): 36 mg/m<sup>3</sup>

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 7.8. Nitrito sódico



El Nitrito sódico es una sal del ácido nitroso y se presenta en forma de sólido cristalino incoloro. La producción industrial del Nitrito sódico está basada en la reacción que se produce entre los óxidos de nitrógeno y el carbonato de sodio o una solución de hidróxido de sodio.

El Nitrito sódico tiene multitud de usos en la industria, principalmente la farmacéutica y química para la obtención de compuestos nitrosos e isonitrosos y pesticidas. También se usa en la industria metalúrgica, para prevenir la corrosión, etc.

En la industria de los explosivos se utiliza como aditivo de los hidrogeles, ya que reacciona con el nitrato amónico generando agua y Nitrógeno. Este Nitrógeno proporciona una gasificación química, aumentando las propiedades y la sensibilidad del hidrogel. La reacción se cataliza con la presencia de Tiourea.

### 7.8.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Tiourea son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>NaNO<sub>2</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	7632-00-0
<b>Peso molecular</b>	69.00 g/mol
<b>Densidad</b>	2.17 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	271 °C

<b>Punto de ebullición</b>	320 °C
----------------------------	--------

### 7.8.2. Características toxicológicas

El Nitrito sódico puede absorberse por el organismo por vía inhalatoria, por vía digestiva y por vía dérmica. Los principales síntomas de su exposición aguda, por contacto o por inhalación, son: enrojecimiento de la piel y los ojos, labios o uñas azulados, piel azulada, tos, vértigo, dolor de cabeza, dificultad respiratoria y pérdida de conocimiento.

La ingestión de este compuesto puede producir dolor abdominal, labios o uñas azulados, piel azulada, diarrea, vértigo, dolor de cabeza, dificultad respiratoria, pérdida de conocimiento, Vómitos, pulso rápido, y caída brusca de la tensión sanguínea.

La exposición de esta sustancia afecta a la sangre y al sistema nervioso pudiendo producir la muerte. Los efectos no aparecen de forma inmediata.

El vertido de este compuesto puede ser peligrosa para el ambiente sobre todo el agua y el suelo.

### 7.8.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

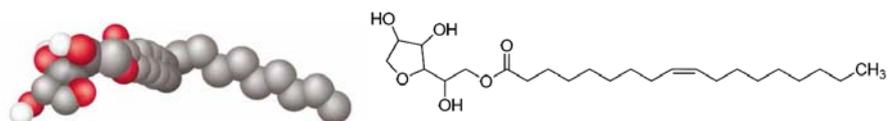
	<b>Oxidante sólido categoría 2</b>	<b>Frase:</b> H272 Puede agravar un incendio. Comburente
	<b>Toxicidad aguda categoría 3</b>	<b>Frase:</b> H301 Tóxico en caso de ingestión
	<b>Irritante de los ojos categoría 2A</b>	<b>Frase:</b> H319 Provoca irritación ocular grave
	<b>Tóxico para organismos acuáticos categoría 1</b>	<b>Frase:</b> H400 Muy tóxico para los organismos acuáticos.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

### 7.9. Monooleato de Sorbitan (MOS)



El Monooleato de Sorbitan (MOS) es un líquido oleoso de color amarillo que se puede producir, por síntesis química, de dos modos distintos: por reacción de esterificación entre el Ácido oleico y el Sorbitan a elevada temperatura o por reacción de interesterificación entre el Oleato de metilo y el Sorbitan, utilizando un disolvente.

El principal uso de este compuesto es como emulsificante en las industrias: alimenticia, farmacéutica, cosmética, textil, papelera, de pinturas, de plásticos, etc. En el caso de los explosivos se utiliza como emulsificante, en emulsiones explosivas del tipo agua en aceite.

### 7.9.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Monooleato de Sorbitan son las siguientes:

<b>Fórmula</b>	<b>C<sub>24</sub>H<sub>44</sub>O<sub>6</sub></b>
<b>Nº CAS</b>	1338-43-8
<b>Peso molecular</b>	428.6 g/mol
<b>Densidad</b>	2.17 g/cm <sup>3</sup>
<b>Punto de fusión</b>	0-10 °C
<b>Punto de ebullición</b>	>300 °C

### 7.9.2. Características toxicológicas

Las principales vías de exposición del Monooleato de Sorbitan son dérmica, digestiva y parenteral, ya que, por inhalación no se han detectado efectos perjudiciales para el organismo. En contacto con los ojos puede producir insensibilidad y daños en la córnea e irritación. En contacto con la piel de manera prolongada puede causar sequedad, agrietamiento y dermatitis.

La ingestión de esta sustancia puede producir vómitos y diarrea.

Si este compuesto se pone en contacto con cortes o heridas, puede penetrar en el torrente sanguíneo provocando daños sistémicos.

### 7.9.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP

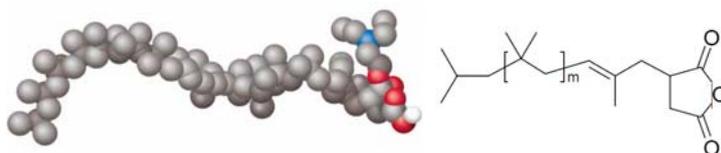
No presenta frases H.

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

## 7.10. Poliisobutileno Succínico Anhidro (PIBSA)



El Poliisobutileno Succínico Anhidro (PIBSA) es un líquido viscoso y de color oscuro que se obtiene haciendo reaccionar polímeros de polibutileno con anhídrido maleico.

Este compuesto se utiliza en la industria química como producto intermedio para la fabricación de dispersantes solubles en aceite para adición a lubricantes, aditivos antioxidantes y como emulsificante. Esta última función es la que ejerce también en la industria de los explosivos, acompañando al Monooleato de Sorbitan como emulsificante en las emulsiones explosivas.

### 7.10.1. Principales características físico-químicas

Las principales características físico-químicas del Poliisobutileno Succínico Anhidro son las siguientes:

Fórmula	variable
Nº CAS	67762-77-0
Peso molecular	> 1000 g/mol
Densidad	variable
Punto de fusión	<25 °C
Punto de ebullición	Se descompone

### 7.10.2. Características toxicológicas

La principal vía de exposición del Poliisobutileno Succínico Anhidro es la dérmica e inhalatoria. Aunque no hay mucha información toxicológica acerca de este compuesto puede producir irritación en las vías respiratorias y en la piel.

### 7.10.3. Clasificación de peligros según Reglamento CLP



**Frase:** H335

Puede irritar las vías respiratorias



**Frase:** H319

Provoca irritación ocular grave

Valor Límite Ambiental de Exposición Diaria (VLA-ED): No disponible

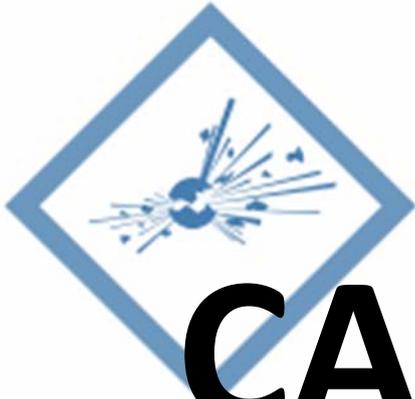
Valor Límite Ambiental de Exposición Corta (VLA-EC): No disponible

Valor Límite Biológico (VLB): No disponible

		Cloruro sódico	Cloruro amónico	Piroantimoniato de potasio	Acetato de potasio	Tiourea	Nitrito sódico	MOS	PIBSA
<b>DINAMITAS</b>	<b>Goma 1</b>								
	<b>Riodin</b>								
	<b>Riodin 9</b>								
	<b>Explosivo de seguridad Nº 20</b>		X						
	<b>Ligamita 1</b>								
	<b>Amonita 2I</b>								

<b>ANFOS</b>	Rioxam AL								
	Rioxam LP								
	Rioxam ST								
	Rioxam AL WR								
<b>HIDROGELES</b>	Riogel Kupula			X	X	X	X		
	Riogel troner Plus			X	X	X	X		
	Riogel troner Plus R			X	X	X	X		
	Riogel troner			X	X	X	X		
	Riogel troner R			X	X	X	X		
	Riogel ST			X	X	X	X		
	Riogel XE			X	X	X	X		
	Riogel HE			X	X	X	X		
	Riogur F			X	X	X	X		
	Riogur R			X	X	X	X		
	Permigel 1	X		X	X	X			
	Riomax			X	X	X	X		
<b>EMULSIO</b>	Riomex UG							X	X
	Riomex 7000							X	X
	Riomex 8000							X	X
	Riohit							X	X

**Tabla 6:** Resumen de otros aditivos contenidos en los explosivos



# CAPÍTULO

# 4

**ESTUDIO DE LOS RIESGOS HIGIÉNICOS  
DERIVADOS DE LA FABRICACIÓN DE  
EXPLOSIVOS MEDIANTE MÉTODOS  
SIMPLIFICADOS**

---

Como se ha podido observar a lo largo de los capítulos anteriores, los procesos de fabricación de los explosivos y los agentes químicos presentes en los mismos, son muy heterogéneos.

Aunque no tenemos datos exactos acerca de la maquinaria usada para la producción de explosivos, ni de las proporciones exactas en que cada uno de los componentes participa en el proceso, sí que hemos obtenido información de la producción de la Fábrica de Páramo de Masa en Quintanilla-Sobresierra (Burgos), propiedad de Maxam Europe S.A., de la fábrica de Galdácano propiedad de Maxamcorp, S.A.U. y de la fábrica de Hidrogeles a granel situada en Copiapó (Chile), propiedad de Maxam Chile S.A. Estas informaciones se encuentran publicadas en el Boletín Oficial de Castilla y León, el Boletín Oficial del País Vasco y en internet, respectivamente, con objeto de la concesión de la Autorización Ambiental para dichas plantas.

Estos datos son muy importantes para el uso de los métodos simplificados, ya que, mediante las producciones anuales, se puede realizar una estimación de la cantidad de agente químico a la que puede estar expuesto un trabajador en una jornada de ocho horas al día. Para los agentes químicos que no están presentes en dichos documentos de autorización ambiental, se han establecido unas cantidades basándonos en los porcentajes otorgados por las fichas de datos de seguridad.

En el caso de las emulsiones, por falta de datos reales de producciones se ha basado el cálculo en una cantidad arbitraria y, a partir de ahí, se han establecido las proporciones de agentes químicos (basadas en los porcentajes de las fichas de datos de seguridad).

Una vez establecida la cantidad del agente químico, sus características y conocido el proceso de fabricación, estamos en disposición de realizar una evaluación simplificada fiel a lo que sucede en la realidad.

## **1. CÁLCULO DE LAS PRODUCCIONES DIARIAS**

La fábrica de Quintanilla-Sobresierra principalmente produce Dinamitas e Hidrogeles encartuchados, la fábrica de Galdácano, además de dinamitas e hidrogeles, también produce ANFO y la fábrica de Copiapó produce hidrogeles a granel con base nitrato de Hexamina. De este modo, para la estimación de las producciones de Dinamitas e Hidrogeles contemplaremos la información de la fábrica situada en Burgos, por tener una producción mayor y proporcionar información más detallada y actual. Por el contrario para la fabricación de ANFO nos centraremos en la fábrica de Galdácano y para la de Hidrogeles a granel en la de Copiapó.

### **1.1. Cálculo de la producción diaria de dinamitas**

La producción anual es de 24.000 toneladas. La fabricación de dinamitas, como ya hemos visto anteriormente, conlleva dos subprocesos: la fabricación de Nitroglicerina/Nitroglicol y la fabricación de la pasta explosiva.

Para el cálculo de la producción se estiman un total de 221 días útiles anuales, con dos turnos de 8 horas diarias.

### 1.1.1. Cálculo de la producción diaria de Nitroglicerina y/o Nitroglicol

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Óleum	3100	14,03	0,88	<b>7,01</b>
Ac. Nítrico 98%	3250	14,71	0,92	<b>7,35</b>
Monoetilenglicol	1224	5,54	0,35	<b>2,77</b>
Glicerina	700	3,17	0,20	<b>1,58</b>
Carbonato sódico	372	1,68	0,11	<b>0,84</b>
Amoniaco	200	0,90	0,06	<b>0,45</b>

### 1.1.2. Cálculo de la producción diaria de Pasta explosiva

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Nitroglicol/nitroglicerina	2044	9,25	0,58	<b>4,62</b>
Dibutilftalato	182	0,82	0,05	<b>0,41</b>
Nitrato amónico	4650	21,04	1,32	<b>10,52</b>
Nitrato sódico	150	0,68	0,04	<b>0,34</b>
Harina	84	0,38	0,02	<b>0,19</b>
Trinitrotolueno	800	3,62	0,23	<b>1,81</b>
Cloruro amónico	100	0,45	0,03	<b>0,23</b>
Nitrocelulosa	72	0,33	0,02	<b>0,16</b>

## 1.2. Cálculo de la producción diaria de ANFO

La producción anual se estima en 4000 toneladas. Para el cálculo de la producción se estiman un total de 221 días útiles anuales, con 2 turnos de 8 horas diarias.

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Nitrato amónico	3720	16,83	1,05	<b>8,42</b>
Gasóleo	136	0,62	0,04	<b>0,31</b>
Aluminio grado pintura	144	0,65	0,04	<b>0,33</b>

## 1.3. Cálculo de la producción diaria de hidrogeles encartuchados

La producción anual de Hidrogeles encartuchados son unas 24.000 toneladas. Análogamente a la fabricación de dinamitas hemos de considerar dos subprocesos: la fabricación del Nitrato de Monometilamina y la fabricación de hidrogeles.

Para el cálculo de la producción se estiman un total de 221 días útiles anuales, con 2 turnos de 8 horas diarias.

### 1.3.1. Cálculo de la producción diaria de Nitrato de Monometilamina

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Monometilamina	1740	7,87	0,49	<b>3,94</b>
Ac. Nítrico 98%	2310	10,45	0,65	<b>5,23</b>
Ac. Nítrico débil	2520	11,40	0,71	<b>5,70</b>

**1.3.2. Cálculo de la producción diaria de Hidrogeles encartuchados**

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Goma Guar	276	1,25	0,08	<b>0,62</b>
Nitrato sódico	1422	6,43	0,40	<b>3,22</b>
Aluminio grado pintura	351	1,59	0,10	<b>0,79</b>
Almidón	645	2,92	0,18	<b>1,46</b>
Tiourea	93	0,42	0,03	<b>0,21</b>
Ácido Adípico	30	0,14	0,01	<b>0,07</b>
Piroantimoniato potásico	6	0,03	0,00	<b>0,01</b>
Nitrito sódico	3	0,01	0,00	<b>0,01</b>
Nitrato amónico	13275	60,07	3,75	<b>30,03</b>
Nitrato de monometilamina	6540	29,59	1,85	<b>14,80</b>
Acetato de potasio	0,7	0,00	0,00	<b>0,002</b>
Monoetilenglicol	17	0,08	0,00	<b>0,04</b>
Perclorato sódico	220	1,00	0,06	<b>0,50</b>
Cloruro sódico	15	0,07	0,00	<b>0,03</b>

**1.4. Cálculo de la producción diaria de hidrogeles a granel**

La producción anual se estima en 14.400 toneladas. Del mismo modo que ocurre con los hidrogeles encartuchados, la fabricación de hidrogeles a granel se lleva a cabo mediante dos subprocesos: fabricación de nitrato de Hexamina y posterior mezclado de todos los componentes que conforman el hidrogel.

Para el cálculo de la producción se estiman un total de 221 días útiles anuales, con 2 turnos de 8 horas diarias.

**1.4.1. Cálculo de la producción diaria de Nitrato de Hexamina**

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Ácido nítrico	1944	8,80	0,55	<b>4,40</b>
Hexamina	1037	4,69	0,29	<b>2,35</b>

**1.4.2. Cálculo de la producción diaria de Hidrogel a granel**

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Goma Guar	102	0,46	0,03	<b>0,23</b>
Nitrato sódico	720	3,26	0,20	<b>1,63</b>
Almidón	36	0,16	0,01	<b>0,08</b>
Gasóleo	612	2,77	0,17	<b>1,38</b>
Piroantimoniato potásico	6	0,03	0,00	<b>0,01</b>
Nitrato amónico	10800	48,87	3,05	<b>24,43</b>
Nitrato de Hexamina	2160	9,77	0,61	<b>4,89</b>
Aluminio grado pintura	210,6	1,59	0,10	<b>0,79</b>
Tiourea	55,8	0,42	0,03	<b>0,21</b>

Ácido Adípico	18	0,14	0,01	<b>0,07</b>
Nitrito sódico	1,8	0,01	0,00	<b>0,01</b>
Monoetilenglicol	10,2	0,08	0,00	<b>0,04</b>
Perclorato sódico	132	1,00	0,06	<b>0,50</b>
Acetato de potasio	0,42	0,00	0,00	<b>0,001</b>

### 1.5. Cálculo de la producción diaria de Emulsiones

Al no tener datos de ninguna fabrica en concreto sobre la que basar la producción de emulsiones, hemos considerado una producción anual de 20.500 toneladas. La fabricación de emulsiones también consta de dos subprocesos: fabricación de nitrato de Hexamina y el mezclado final de los componentes que forman la emulsión.

Para el cálculo de la producción se estiman un total de 221 días útiles anuales, con 2 turnos de 8 horas diarias.

#### 1.5.1. Cálculo de la producción diaria de Nitrato de Hexamina

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Ácido nítrico	1476	6,68	0,42	<b>3,34</b>
Hexamina	787,2	3,56	0,22	<b>1,78</b>

#### 1.5.2. Cálculo de la producción diaria de Emulsiones

Agente químico	t/año	t/día (brutas)	t/hora	t/día (jornada 8h)
Nitrato sódico	1230	5,57	0,35	<b>2,78</b>
Perclorato sódico	1025	4,64	0,29	<b>2,32</b>
Cera de parafina	410	1,86	0,12	<b>0,93</b>
Aceite mineral	820	3,71	0,23	<b>1,86</b>
Nitrato amónico	13325	60,29	3,77	<b>30,15</b>
Nitrato de Hexamina	1640	7,42	0,46	<b>3,71</b>
Gasóleo	615	2,78	0,17	<b>1,39</b>
Aluminio atomizado	164	0,74	0,05	<b>0,37</b>
Monooleato de Sorbitan	61,5	0,28	0,02	<b>0,14</b>
PIBSA	205	0,93	0,06	<b>0,46</b>

## 2. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN

Para la evaluación de la exposición a agentes químicos, el Real Decreto 374/2001, de 6 de Abril sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo, establece una serie de pautas y de métodos a seguir para realizar una evaluación representativa de la exposición de los trabajadores, para estar en disposición de determinar si es aceptable o no. Para ello, dicho Real Decreto y la Guía Técnica del INSHT (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo) se basan en la Norma UNE-EN 689 "Atmósferas en el lugar de trabajo.

Directrices para la evaluación de la exposición por inhalación de agentes químicos para la comparación con los valores límite y estrategia de la medición”. De este modo, el Real Decreto establece tres niveles jerárquicos, perfectamente diferenciados:

- ❖ Estimación inicial: métodos simplificados cualitativos.
- ❖ Estudio básico: estimaciones cuantitativas no representativas estadísticamente.
- ❖ Estudio detallado: medidas cuantitativas representativas estadísticamente de la exposición real y personal del trabajador.

## 2.1. Estimación inicial: métodos simplificados cualitativos

Los métodos simplificados nos permiten, de una manera simple, rápida y barata, estimar el riesgo químico de un puesto de trabajo en concreto, ofreciéndonos unas conclusiones muy sencillas de interpretar y determinando si es necesario seguir con el estudio básico o, por el contrario, el riesgo es aceptable y fácilmente controlable siguiendo los principios básicos de la prevención. Los más utilizados son el método “Coshh Essentials” del HSE (Health and Safety Executive) y el método del INRS (Institut National de Recherche et de Sécurité).

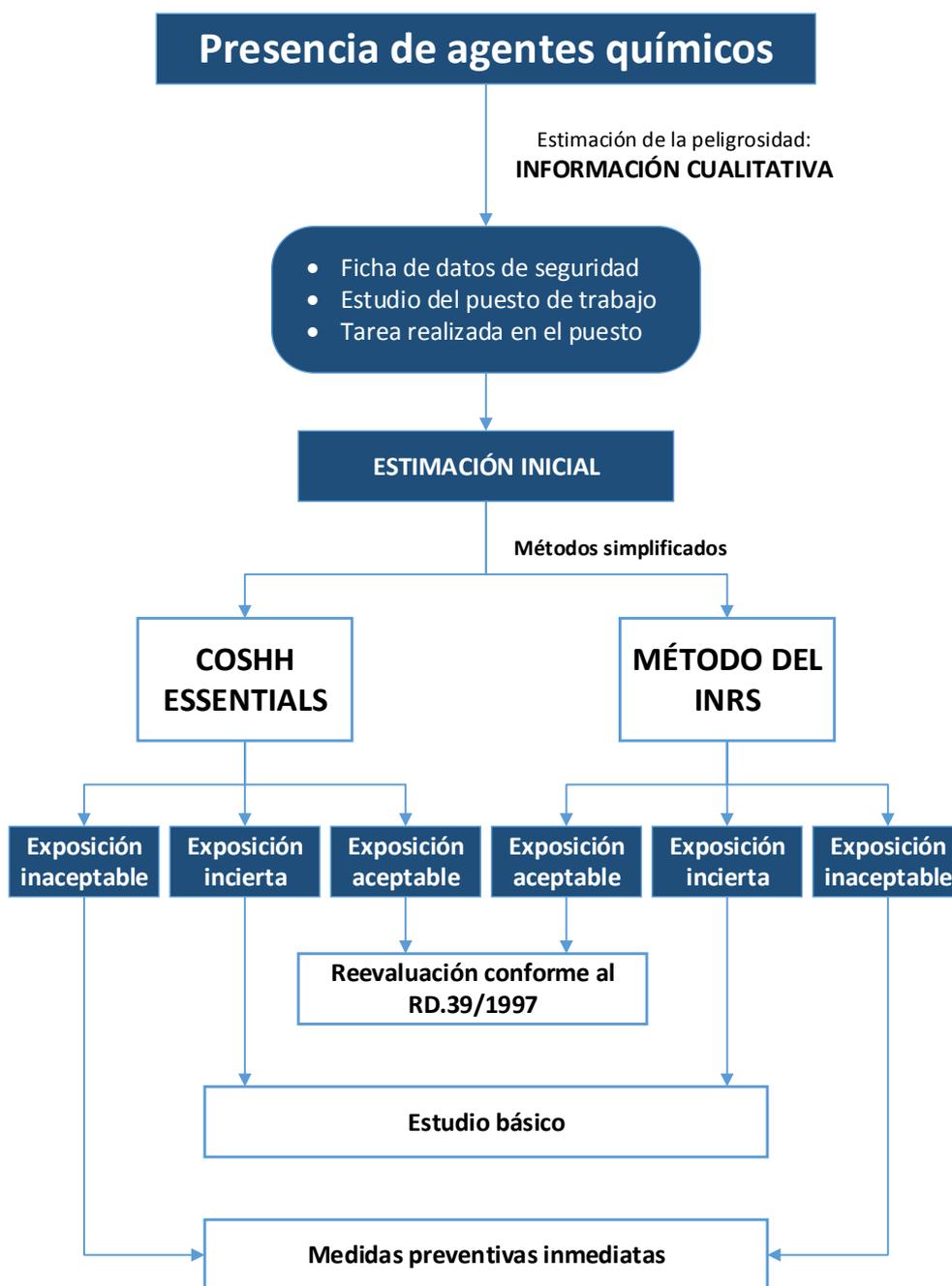
### 2.1.1. Métodos simplificados: COSHH ESSENTIALS

Este método fue diseñado originalmente por el Health and Safety Executive Inglés para establecer y evaluar las condiciones de control presentes en determinados procesos y no para realizar evaluaciones de riesgos. No obstante, es muy útil, puesto que basándonos en muy pocas variables como son las frases R o H (riesgo potencial de la sustancia), la cantidad y la capacidad del agente químico de pasar al ambiente (volatilidad/pulverulencia y estado físico), nos otorga una clasificación del peligro (A, B, C, D y E siendo el A un nivel aceptable y E completamente inaceptable). En función de las cantidades manejadas y el nivel de peligro, el método nos indica un nivel de riesgo del 1 al 4, siendo el 1 un nivel aceptable, el nivel 4 inaceptable y los demás niveles de riesgo no ofrecen una conclusión eficaz, por lo que es necesaria la realización de un estudio detallado. Para cada uno de los niveles de riesgo el método propone una serie de medidas preventivas y de control para alcanzar niveles de exposición menores.

### 2.1.2. Métodos simplificados: método del INRS

Las ventajas de este método con respecto al Coshh Essentials radica, principalmente, en que se consideran un mayor número de variables, lo que lo hace más completo y también más laborioso, sin embargo, no deja de ser un método simplificado. La evaluación simplificada del riesgo por inhalación de agentes químicos se realiza a partir de las frases R o H (riesgo potencial de la sustancia), la cantidad y la capacidad del agente químico de pasar al ambiente (volatilidad/pulverulencia y estado físico), del procedimiento de trabajo, de los medios de protección colectiva (ventilación) y un factor de corrección ( $F_{CVLA}$ ), cuando el valor límite ambiental (VLA) del agente químico (AQ) sea muy pequeño, inferior a  $0,1 \text{ mg/m}^3$ . Teniendo en cuenta estas variables obtenemos una puntuación final del agente químico estudiado, calculada en base al riesgo potencial y

ponderada con diversos factores, que dependen de las condiciones de utilización, el estado físico y el valor límite ambiental del agente químico. A partir de esta puntuación final, se establece una prioridad de actuación con tres niveles distintos, siendo el nivel 1 (puntuación mayor de 1000) el de mayor riesgo (medidas inmediatas y estudio detallado) y el nivel 3 (puntuación menor de 100) el de menor riesgo (no es necesario modificar las medidas existentes).



Esquema 1. Estimación inicial mediante métodos simplificados

## 2.2. Estudio básico

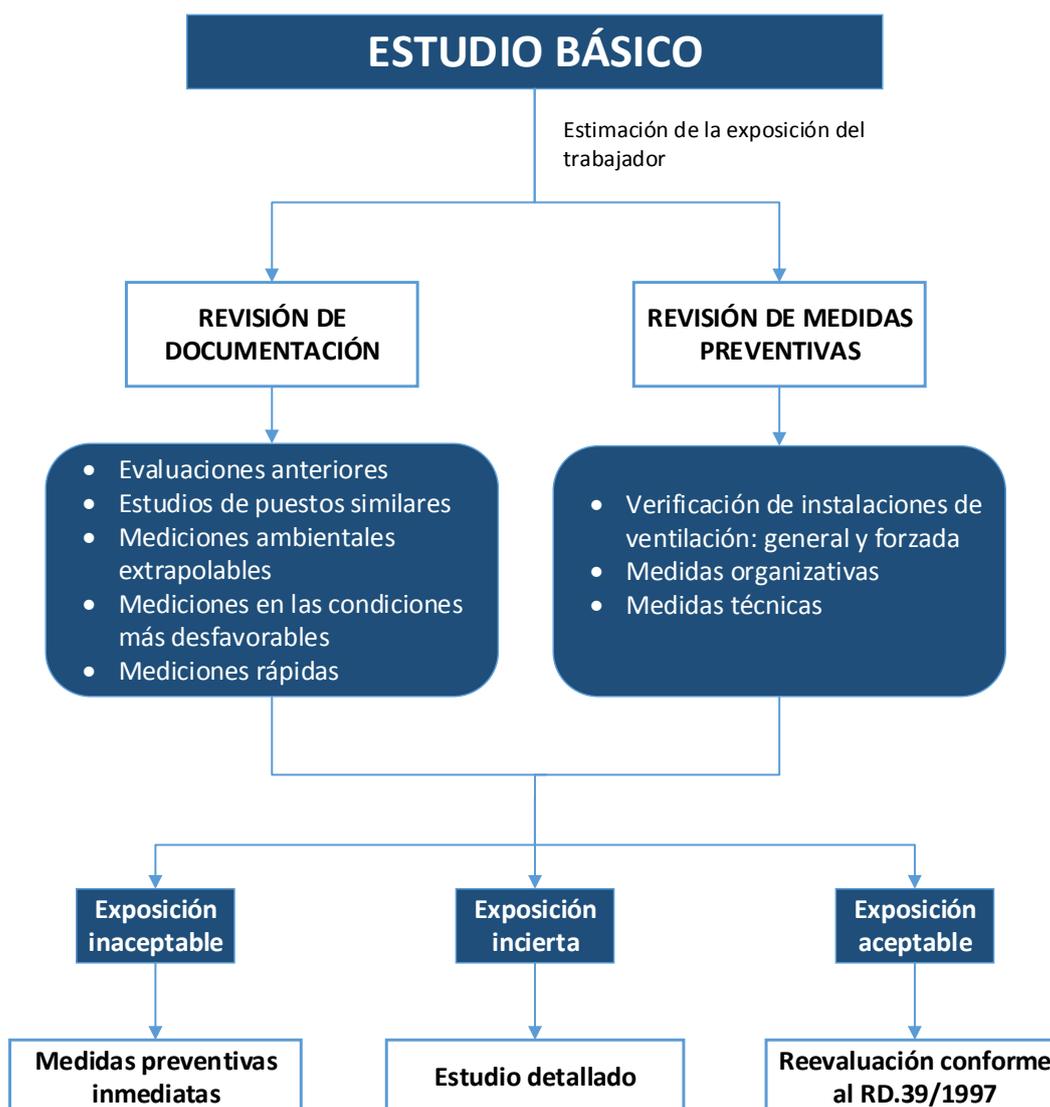
El estudio básico trata de ahondar un poco más en la realidad de los riesgos existentes en el puesto de trabajo. Para la elaboración de este estudio no es necesaria la realización

de mediciones de la exposición, ya que se basa en: revisión de toda la documentación posible que nos proporcione información sobre los niveles de exposición a los que puede estar expuesto el trabajador y la verificación de la funcionalidad de las medidas preventivas existentes.

La toma de muestra en este tipo de estudios se realiza con instrumentos de toma de muestras directa o en continuo como pueden ser: tubos colorimétricos, detectores de gases, monitorización de emisiones de contaminante en los procesos que las tengan implantadas, etc.

Para la verificación de las instalaciones de ventilación es necesario: medidores de caudal, de velocidad del aire, de presión, etc. para poder estudiar si la instalación funciona según los parámetros para los que se diseñó.

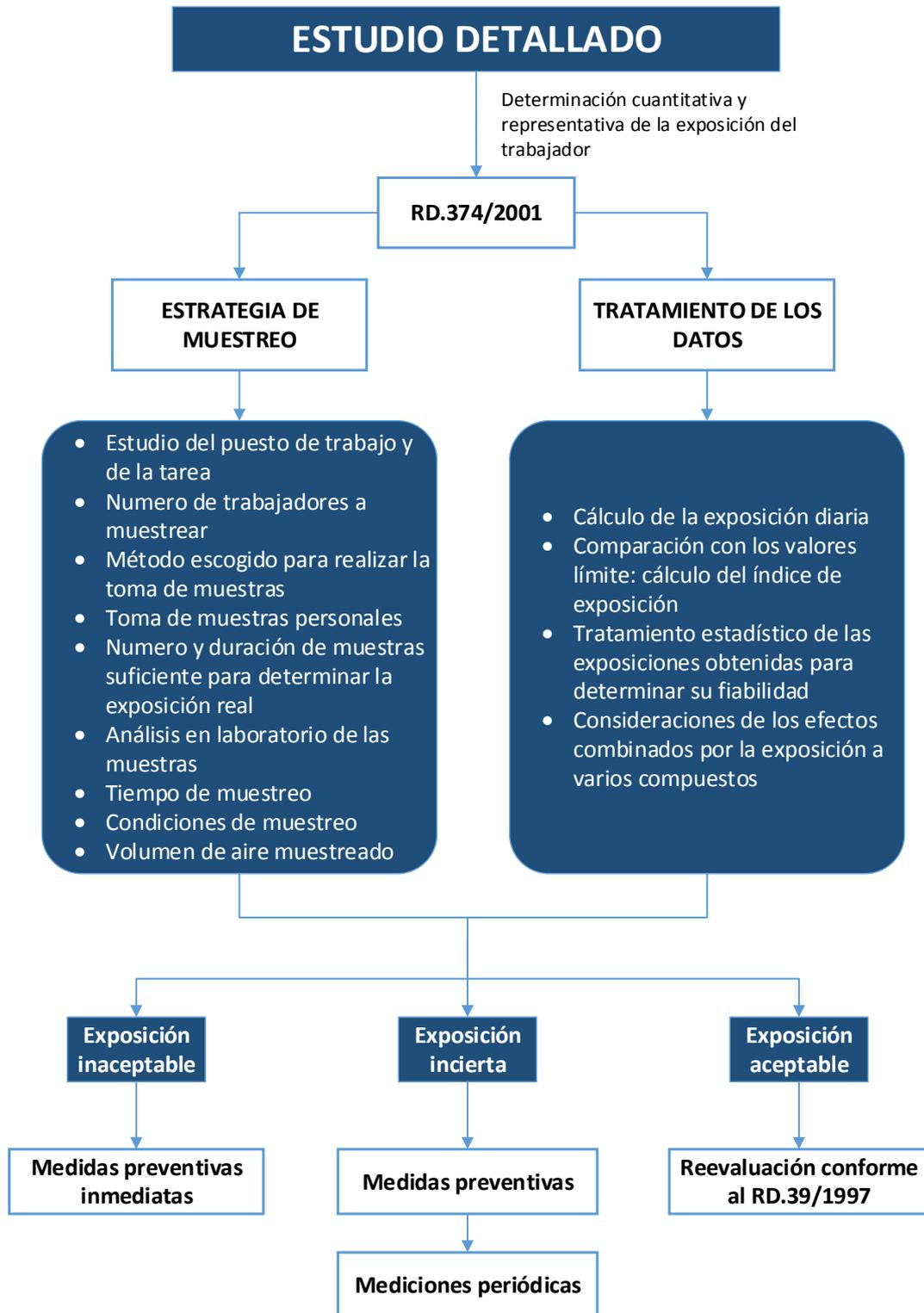
Con todas estas revisiones, a menudo se puede llegar a conclusiones muy útiles estableciendo medidas preventivas que disminuyan la exposición del trabajador muy significativamente, aunque cabe destacar que cuando se tratan productos muy tóxicos es conveniente la realización de un estudio cuantitativo para asegurar con datos fiables que la exposición del trabajador es aceptable.



Esquema 2. Estudio básico

### 2.3. Estudio detallado

Cuando no se ha podido determinar si la situación es aceptable mediante los estudios anteriores o los productos que estamos estudiando son: sensibilizantes, cancerígenos, mutágenos o tóxicos para la reproducción, se tiene que recurrir a la realización de un estudio detallado para la determinación fiable, real y estadísticamente representativa de la exposición a la que está sometido el trabajador en una jornada de trabajo de 8 h. diarias y 40 h. semanales. Esta exposición se denomina exposición diaria (ED) y su valor no debe superar nunca el valor límite de exposición diaria (VLA-ED). Si el agente químico presenta una toxicidad aguda, también se deberá tener en cuenta la exposición de corta duración para un periodo de 15 min., la cual no debe sobrepasar el valor límite de corta exposición (VLA-EC), o si este último no está reflejado se estimará en 3 veces el VLA-ED.



Esquema 3. Estudio detallado

Las mediciones deben realizarse durante suficientes días y en operaciones diferentes, con el fin de obtener información sobre el modelo de exposición, de forma que se pueda asegurar, con un determinado grado de confianza, normalmente el 95%, que no se supera el valor límite, no sólo en los días en que se tomaron las muestras, sino también

en aquellos días y horas en los que no se realizó el muestreo, siempre y cuando se mantengan las mismas condiciones.

Al comparar el valor obtenido para la concentración con el valor límite ambiental, establecido para dicho agente químico, se puede llegar a tres conclusiones: exposición aceptable, exposición inaceptable o exposición incierta.

La descripción completa y pormenorizada de la metodología de evaluación que se va a utilizar en este trabajo fin de máster se realiza en los Anexos 1 y 2.

### 3. EVALUACIÓN DEL RIESGO

Una vez que conocemos las producciones diarias para una jornada laboral estándar de 8 horas, los procesos de fabricación y los principales riesgos intrínsecos de cada uno de los agentes químicos, podemos comenzar la evaluación simplificada de riesgos.

La evaluación del riesgo por exposición inhalatoria lo vamos a realizar con dos métodos diferentes: el método Coshh Essentials y el método del INRS. Este último permite contemplar el proceso productivo y las medidas preventivas ya implantadas, por lo que nos da una visión más clara del riesgo real que existe, puesto que si las medidas preventivas son las adecuadas, el riesgo disminuirá considerablemente.

#### 3.1. Evaluación del riesgo mediante el método Coshh Essentials

Las páginas web del HSE y del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT) ofrecen aplicaciones informáticas que permiten realizar el proceso de evaluación de manera rápida y sencilla. Dichas aplicaciones son muy útiles para agilizar el proceso de evaluación y eliminar posibles errores humanos en el procesamiento de datos. Los resultados obtenidos que se muestran en los apartados siguientes, pertenecen a la aplicación del INSHT.

##### 3.1.1. Explosivos tipo A: Dinamitas

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Nitroglicerina</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Óleum	LIQ	C	Grande	Media	4
Ácido nítrico	LIQ	C	Grande	Alta	4
Monoetilenglicol	LIQ	C	Grande	Media	4
Glicerina	LIQ	A	Grande	Baja	1
Carbonato de sodio	SOL	A	Mediana	Baja	1
Amoníaco	GAS	C	Mediana	Alta	3
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

Nombre de la operación: <b>Fabricación de la pasta explosiva</b>
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>
Resultado de la evaluación:

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Nitroglicol	LIQ	D	Grande	Media	4
Nitroglicerina	LIQ	D	Grande	Baja	3
Nitrato amónico	SOL	A	Grande	Media	2
Nitrato sódico	SOL	A	Mediana	Media	1
Harina	SOL	A	Mediana	Alta	2
Nitrocelulosa	SOL	A	Mediana	Baja	1
Trinitrotolueno	SOL	C	Mediana	Media	3
Cloruro amónico	SOL	B	Mediana	Media	2
Dibutilftalato	LIQ	D	Mediana	Baja	3
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

### 3.1.2. Explosivos tipo B-b: ANFOS

Nombre de la operación: <b>Fabricación de ANFOS</b>
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>
Resultado de la evaluación:

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Nitrato amónico	SOL	A	Grande	Media	2
Gasóleo	LIQ	E	Mediana	Media	4
Aluminio en polvo	SOL	A	Mediana	Alta	2
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

### 3.1.3. Explosivos tipo E-a: Hidrogeles encartuchados

Nombre de la operación: <b>Fabricación de Nitrato de Monometilamina</b>
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>
Resultado de la evaluación:

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Monometilamina	GAS	C	Grande	Alta	4
Ácido nítrico 98%	LIQ	C	Grande	Media	4
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Hidrogeles encartuchados</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Goma Guar	SOL	A	Mediana	Baja	1
Nitrato sódico	SOL	A	Grande	Media	2
Aluminio en polvo	SOL	A	Mediana	Alta	2
Almidón	SOL	A	Grande	Alta	2
Tiourea	SOL	D	Mediana	Baja	3
Ácido adípico	SOL	A	Mediana	Media	1
Piroantimoniato de Potasio	SOL	B	Mediana	Baja	1
Nitrito de sodio	SOL	C	Mediana	Media	3
Nitrato amónico	SOL	A	Grande	Media	2
Nitrato de monometilamina	SOL	C	Grande	Media	4
Acetato de potasio	SOL	A	Mediana	Alta	2
Cloruro sódico	SOL	A	Mediana	Media	1
Perclorato de sodio	SOL	B	Mediana	Media	2
Monoetilenglicol	LIQ	C	Mediana	Baja	2
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

### 3.1.4. Explosivos tipo E-a: Hidrogeles a granel

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Nitrato de Hexamina</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Ácido nítrico	LIQ	C	Grande	Media	4
Hexamina	SOL	C	Grande	Media	4
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

Nombre de la operación: <b>Fabricación de Hidrogeles a granel</b>
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>
Resultado de la evaluación:

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Goma Guar	SOL	A	Mediana	Baja	1
Nitrato sódico	SOL	A	Grande	Media	2
Aluminio en polvo	SOL	A	Mediana	Alta	2
Almidón	SOL	A	Grande	Alta	2
Tiourea	SOL	D	Mediana	Baja	3
Ácido adípico	SOL	A	Mediana	Media	1
Piroantimoniato de Potasio	SOL	B	Mediana	Baja	1
Nitrito de sodio	SOL	C	Mediana	Media	3
Nitrato amónico	SOL	A	Grande	Media	2
Nitrato de Hexamina	SOL	A	Grande	Media	2
Acetato de potasio	SOL	A	Mediana	Alta	2
Cloruro sódico	SOL	A	Mediana	Media	1
Perclorato de sodio	SOL	B	Mediana	Media	2
Monoetilenglicol	LIQ	C	Mediana	Baja	2
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>3</b>

### 3.1.5. Explosivos tipo E-b: emulsiones

Nombre de la operación: <b>Fabricación de Nitrato de Hexamina</b>
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>
Resultado de la evaluación:

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Ácido nítrico	LIQ	C	Grande	Media	4
Hexamina	SOL	C	Grande	Media	4
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

Nombre de la operación: <b>Fabricación de emulsiones</b>
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>
Resultado de la evaluación:

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Nitrato sódico	SOL	A	Grande	Media	2
Nitrato amónico	SOL	A	Grande	Media	2
Perclorato de sodio	SOL	B	Grande	Media	3
Aceite mineral	LIQ	A	Grande	Baja	1
Nitrato de Hexamina	SOL	A	Grande	Media	2
Monooleato de Sorbitan	LIQ	A	Mediana	Baja	1
Poliisobutileno Succínico Anhidro	LIQ	C	Mediana	Baja	2
Aluminio en polvo	SOL	A	Mediana	Alta	2
Cera de parafina	LIQ	A	Mediana	Baja	1
Gasóleo	LIQ	E	Grande	Media	4
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>4</b>

### 3.2. Evaluación del riesgo mediante el método del INRS

A diferencia del Coshh Essentials el método del INRS no posee aplicación informática para que el proceso de evaluación sea más simple y rápido. Para su aplicación en este trabajado fin de máster se ha creado una hoja de cálculo de Microsoft Excel, con objeto de agilizar los procedimientos de evaluación mediante este método.

### 3.2.1. Explosivos tipo A: Dinamitas

Nombre de la operación: <b>Fabricación de Nitroglicerina</b>					
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>					
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>					
Resultado de la evaluación:					
Agente	Estado	Peligrosidad potencial	Exposición potencial	Riesgo por inhalación	Nivel de actuación
Óleum	LIQ	3	5	70	3
Ácido nítrico	LIQ	3	5	70	3
Monoetilenglicol	LIQ	3	5	7	3
Glicerina	LIQ	1	5	0	3
Carbonato de sodio	SOL	1	5	5	3
Amoníaco	GAS	3	5	70	3
<b>Nivel de actuación TOTAL de la operación</b>					<b>3</b>

Nombre de la operación: <b>Fabricación de la pasta explosiva</b>					
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>					
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>					
Resultado de la evaluación:					

Agente	Estado	Peligrosidad potencial	Exposición potencial	Riesgo por inhalación	Nivel de actuación
Nitroglicol	LIQ	4	5	3500	1
Nitroglicerina	LIQ	4	5	350	2
Nitrato amónico	SOL	1	5	5	3
Nitrato sódico	SOL	1	5	5	3
Harina	SOL	1	5	35	3
Nitrocelulosa	SOL	1	5	0	3
Trinitrotolueno	SOL	3	5	3500	1
Cloruro amónico	SOL	2	5	50	3
Dibutilftalato	LIQ	4	5	350	2
<b>Nivel de actuación TOTAL de la operación</b>					<b>1</b>

### 3.2.2. Explosivos tipo B-b: ANFOS

Nombre de la operación: <b>Fabricación de ANFOS</b>					
Tiempo del proceso: <b>480 minutos</b>					
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada: <b>1</b>					
Resultado de la evaluación:					

Agente	Estado	Peligrosidad potencial	Exposición potencial	Riesgo por inhalación	Nivel de actuación
Nitrato amónico	SOL	1	5	5	3
Gasóleo	LIQ	5	5	3500	1
Aluminio en polvo	SOL	1	5	35	3
<b>Nivel de actuación TOTAL de la operación</b>					<b>1</b>

### 3.2.3. Explosivos tipo E-a: Hidrogeles encartuchados

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Nitrato de Monometilamina</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Monometilamina	GAS	3	5	70	3
Ácido nítrico	LIQ	3	5	70	3
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>3</b>

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Hidrogeles encartuchados</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Goma Guar	SOL	2	5	350	2
Nitrato sódico	SOL	1	5	5	3
Aluminio en polvo	SOL	1	5	35	3
Almidón	SOL	1	4	35	3
Tiourea	SOL	4	5	35000	1
Ácido adípico	SOL	1	4	0	3
Piroantimoniato de Potasio	SOL	2	4	35	3
Gasóleo	LIQ	5	5	70	3
Nitrito de sodio	SOL	3	4	350	2
Nitrato amónico	SOL	1	5	5	3

Nitrato de monometilamina	SOL	3	5	350	2
Acetato de potasio	SOL	1	2	0	3
Cloruro sódico	SOL	1	4	0	3
Perclorato de sodio	SOL	2	5	35	3
Monoetilenglicol	LIQ	3	4	1	3
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>1</b>

### 3.2.4. Explosivos tipo E-a: Hidrogeles a granel

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Nitrato de Hexamina</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Ácido nítrico	LIQ	3	5	70	3
Hexamina	LIQ	3	5	7	3
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>3</b>

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Hidrogeles a granel</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Goma Guar	SOL	2	5	350	2
Nitrato sódico	SOL	1	5	5	3
Aluminio en polvo	SOL	1	5	35	3
Almidón	SOL	1	4	35	3
Tiourea	SOL	4	5	35000	1
Ácido adípico	SOL	1	4	0	3
Piroantimoniato de Potasio	SOL	2	4	35	3
Gasóleo	LIQ	5	5	70	3
Nitrito de sodio	SOL	3	4	350	2

Nitrato amónico	SOL	1	5	5	3
Nitrato de Hexamina	SOL	1	5	4	3
Acetato de potasio	SOL	1	2	0	3
Cloruro sódico	SOL	1	4	0	3
Perclorato de sodio	SOL	2	5	35	3
Monoetilenglicol	LIQ	3	4	1	3
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>1</b>

### 3.2.5. Explosivos tipo E-b: emulsiones

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Nitrato de Hexamina</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Ácido nítrico	LIQ	3	5	70	3
Hexamina	LIQ	3	5	7	3
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>3</b>

Nombre de la operación:	<b>Fabricación de Emulsiones</b>
Tiempo del proceso:	<b>480 minutos</b>
Número de veces que se efectúa esta operación en una jornada:	<b>1</b>
Resultado de la evaluación:	

Agente	Estado	Peligrosidad	Cantidad por operación	Capacidad de pasar al ambiente	Nivel de riesgo potencial
Nitrato sódico	SOL	1	5	5	3
Nitrato amónico	SOL	1	5	5	3
Perclorato de sodio	SOL	2	5	35	3
Aceite mineral	LIQ	1	5	4	3
Nitrato de Hexamina	SOL	1	5	4	3
Monooleato de Sorbitan	LIQ	1	4	0	3

Poliisobutileno						
Succínico Anhidro	LIQ	3	4	35	3	
Aluminio en polvo	SOL	1	5	35	3	
Cera de parafina	LIQ	1	5	0	3	
Gasóleo	LIQ	5	5	70	3	
<b>Riesgo potencial TOTAL de la operación</b>					<b>3</b>	

### 3.3. Cuadro resumen

Proceso productivo	Nivel de riesgo Coshh Essentials	Prioridad de actuación INRS
Fabricación de nitroglicerina/nitroglicol	4	3
Fabricación de dinamitas	4	1
Fabricación de ANFO	4	1
Fabricación de Nitrato de monometilamina	4	3
Fabricación de Hidrogeles encartuchados	4	1
Fabricación de Nitrato de Hexamina	4	3
Fabricación de Hidrogeles a granel	3	1
Fabricación de Emulsiones	4	3



# CAPÍTULO

5

---

**INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS  
Y CONCLUSIONES**

---

Con el método Coshh Essentials, hemos abordado la peligrosidad de los agentes químicos que constituyen el proceso productivo en sí mismo, independientemente de los procedimientos de trabajo y de las medidas preventivas adoptadas.

Desde el punto de vista de la evaluación de riesgos higiénicos, no sólo es importante realizar una evaluación de los riesgos detectados, sino marcar una serie de pautas con el objetivo de establecer una jerarquización de los riesgos y, en función de la misma, establecer una serie de medidas preventivas que permitan eliminarlos o disminuirlos tanto como sea posible.

Ahora bien, el realizar una evaluación con el método del INRS, no sólo de los agentes químicos que participan el proceso, sino también del propio procedimiento de trabajo y de las medidas preventivas, ya existentes, nos permite acotar, aún más, la jerarquización de las actuaciones preventivas, cruzando los niveles de riesgo obtenidos con uno y otro método.

## 1. JERARQUIZACIÓN DE LOS RIESGOS

Como hemos podido observar en el capítulo anterior, mediante el Coshh Essentials, se ha obtenido el máximo nivel de riesgo para todos los procesos de fabricación, excepto para el proceso de Hidrogeles a granel, que se ha obtenido un nivel de riesgo 3. Ahora bien, al tratarse de procesos que no están en fase de diseño, ni de implantación, en cada proceso productivo existen unas determinadas exigencias derivadas de los métodos de trabajo y de las medidas preventivas, las cuales, con la aplicación del método del INRS sí se han tenido en cuenta. De este modo, para gran parte de los agentes químicos y de los procesos productivos, el nivel de riesgo ha disminuido considerablemente, modificando la prioridad de actuación para la implantación, cambio o mejora de las medidas preventivas.

### 1.1. Fabricación de nitroglicerina/nitroglicol

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Óleum	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Reactor cerrado y ventilación general.	3
Ácido nítrico	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Reactor cerrado y ventilación general.	3
Monoetilenglicol	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Reactor cerrado y ventilación general.	3

Amoníaco	3	Procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Inyección en proceso cerrado y ventilación general.	3
----------	---	---	---	---

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

### 1.2. Fabricación de pasta explosiva (dinamitas)

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Nitroglicol	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Proceso cerrado con acceso y ventilación general.	1
Trinitrotolueno	3	Procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas.	Proceso cerrado con acceso y ventilación general.	1
Nitroglicerina	3	Procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Proceso cerrado con acceso y ventilación general.	2
Dibutilftalato	3	Tener en cuenta el RD 665/1997, sustitución, procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Proceso cerrado con acceso y ventilación general.	2
Harina	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Nitrato amónico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Cloruro amónico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

### 1.3. Fabricación de ANFOS

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Gasóleo	4	Tener en cuenta el RD 665/1997, sustitución,	Proceso de inyección cerrado.	1

		estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Acceso para ensacado.	
Nitrato amónico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Aluminio en polvo	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva con filtro de mangas.	3

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

#### 1.4. Fabricación de Nitrato de monometilamina

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Monometilamina	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Reactor cerrado y ventilación general.	3
Ácido nítrico 98%	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Reactor cerrado y ventilación general.	3

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

#### 1.5. Fabricación de pasta Hidrogeles encartuchados

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Nitrato de monometilamina	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Proceso cerrado y ventilación general.	3
Tiourea	3	Tener en cuenta el RD 665/1997, sustitución, procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	1

Nitrito de sodio	3	Procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	2
Nitrato amónico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Perclorato de sodio	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Acetato de potasio	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Nitrato sódico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Aluminio en polvo	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Almidón	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Monoetilenglicol	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Proceso cerrado y ventilación general.	3

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

### 1.6. Fabricación de Nitrato de Hexamina

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Hexamina	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Reactor cerrado y ventilación general.	3
Ácido nítrico 98%	4	Sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y mantenimiento exhaustivo.	Reactor cerrado y ventilación general.	3

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

### 1.7. Fabricación de Hidrogeles a granel

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Tiourea	3	Tener en cuenta el RD 665/1997, sustitución, procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	1
Nitrito de sodio	3	Procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Nitrato de Hexamina	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Proceso cerrado y ventilación general.	3
Nitrato amónico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Perclorato de sodio	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Acetato de potasio	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Nitrato sódico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Aluminio en polvo	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Almidón	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Monoetilenglicol	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Proceso cerrado y ventilación general.	3

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

### 1.8. Fabricación de Emulsiones

Agentes prioritarios	Nivel de riesgo <sup>1</sup>	Medidas preventivas propuestas <sup>1</sup>	Proceso y medidas preventivas presentes	Prioridad de actuación <sup>2</sup>
Gasóleo	4	Tener en cuenta el RD 665/1997, sustitución, estudio detallado, procesos automatizados, confinamiento total y	Proceso cerrado y ventilación general.	3

		mantenimiento exhaustivo.		
Perclorato de sodio	3	Procesos cerrados, manipulación en vitrinas estancas sometidas a depresión.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Nitrato sódico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Nitrato amónico	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Nitrato de Hexamina	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3
Poliisobutileno Succínico Anhidro	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Proceso cerrado con acceso y ventilación general.	3
Aluminio en polvo	2	Sistema de ventilación por extracción localizada.	Tolva de sólidos con filtro de mangas.	3

<sup>1</sup> Método Coshh Essentials

<sup>2</sup> Método INRS

## 2. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

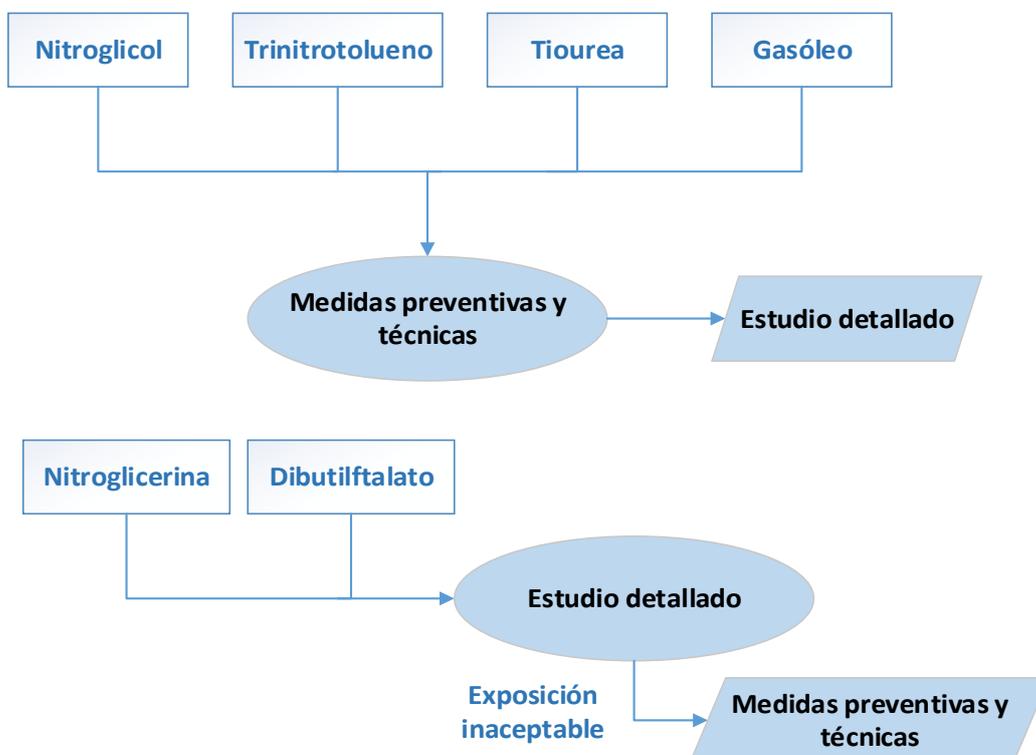
El riesgo potencial inicial obtenido por el método Coshh Essentials, del que partimos en la fase diseño de los procesos de fabricación, se ve muy altamente modificado para la gran mayoría de agentes químicos, en gran parte por la presencia de medidas preventivas y por los procedimientos de trabajo, los cuales, el método Coshh Essentials no evalúa (porque no está diseñado para ello). No obstante, cabe destacar algunos agentes químicos, que a pesar de las medidas preventivas y de los procesos productivos, siguen arrojando un riesgo de exposición elevado o intolerable para la jornada laboral, estos son:

Agente químico	Exposición	Causa	Medidas preventivas
Nitroglicol	Inaceptable	Carga, transporte y volcado de la pasta de dinamita en carros abiertos, hasta encartuchado.	Transporte estanco para evitar la exposición a los agentes peligrosos.
Trinitrotolueno	Inaceptable	Carga, transporte y volcado de la pasta de dinamita en carros abiertos, hasta encartuchado.	Transporte estanco para evitar la exposición a los agentes peligrosos.
Tiourea	Inaceptable	Tolva de volcado de aditivos únicamente con extracción localizada.	Proceso de vertido automático y estanco.

Gasóleo	Inaceptable	Ensayado mediante tolva y posterior sellado, ambos manuales.	Ensayado y sellado automático.
Nitroglicerina	Elevada	Carga, transporte y volcado de la pasta de dinamita en carros abiertos, hasta encartuchado.	Transporte estanco para evitar la exposición a los agentes peligrosos.
Dibutilftalato	Elevada	Carga, transporte y volcado de la pasta de dinamita en carros abiertos, hasta encartuchado.	Transporte estanco para evitar la exposición a los agentes peligrosos.

En la fabricación de explosivos la sustitución de los agentes químicos peligrosos, tal y como se indica en los principios preventivos, es inviable, ya que cada uno de ellos se utiliza con unos fines concretos para los cuales no existe ningún otro compuesto que ofrezca las mismas propiedades, por tanto, hemos de recurrir a las mejoras en los equipos y a la automatización de los procesos.

Para los agentes en los que se ha obtenido un nivel inaceptable, será necesaria la realización de una evaluación detallada de la exposición personal de los trabajadores, una vez se hayan implantado las medidas preventivas y, para aquellos otros en los que la exposición es elevada pero no intolerable, se deben realizar mediciones personales para establecer si hay o no riesgo para la salud. En caso de que exista riesgo se deben abordar las medidas preventivas propuestas y posteriormente realizar nuevas mediciones para ver que éstas son eficaces.



Esquema 4: Interpretación de los resultados

### 3. CONCLUSIONES

La evaluación de riesgos, mediante métodos simplificados, nos ha permitido establecer una serie de pautas y prioridades en la implantación de medidas preventivas y optimización de recursos materiales, humanos, técnicos y económicos, que de otro modo no se podrían establecer de una manera técnicamente válida y oficialmente aceptada, sino de una manera arbitraria.

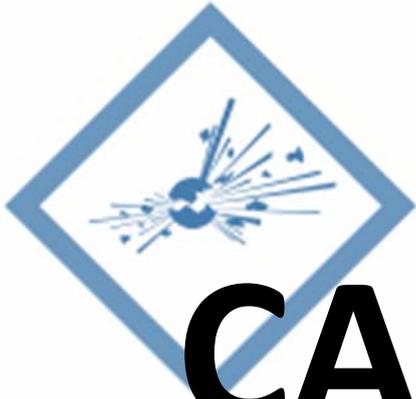
En este trabajo, la evaluación simplificada pretende acercarnos un poco más a la realidad de lo que sucede en el proceso productivo evaluado, indicándonos si en los puestos de trabajo pertenecientes al mismo, la situación es aceptable para la salud del trabajador.

Los resultados obtenidos con estos métodos son realmente alentadores teniendo en cuenta las enormes cantidades de agentes químicos peligrosos que se manejan en los procesos y, también, la elevada toxicidad de los agentes químicos estudiados.

Para finalizar, cabe destacar los siguientes puntos:

- ◊ La evaluación simplificada de riesgos ha puesto de manifiesto que, en la industria de los explosivos, los riesgos higiénicos son muy elevados si no se toman las medidas preventivas adecuadas.
- ◊ A menudo, las medidas que disminuyen el riesgo higiénico no son preventivas, sino que se introducen por exigencias del proceso productivo (reacciones químicas, atmosferas explosivas, etc.), lo que conlleva que en etapas posteriores cuando las sustancias están estabilizadas y el riesgo de reacción fuera de control o de explosión disminuye, como son: el transporte, empaquetado, etc. algunas de las medidas preventivas como confinamiento, transporte por tubería, etc. se eliminen y los trabajadores puedan estar expuestos al riesgo.
- ◊ Cuando se trata de agentes químicos peligrosos y/o cancerígenos, a pesar de obtener riesgos aceptables mediante métodos simplificados, es necesaria la realización de un estudio detallado mediante mediciones periódicas a los trabajadores y teniendo en cuenta el RD 665/1997 relativo a agentes cancerígenos y mutágenos. Será obligatoria la utilización de equipos de protección individual cuando exista cualquier mínimo riesgo de exposición y un seguimiento exhaustivo de la salud del trabajador por parte de la unidad de vigilancia de la salud.
- ◊ No sólo los trabajadores de fábricas de explosivos pueden estar sometidos a riesgos higiénicos, sino también los usuarios de los explosivos: artilleros, ingenieros de minas, personal de demoliciones, técnicos de laboratorios de ensayos, etc. ya que, pueden producirse roturas accidentales de los envoltorios o corte de explosivo, en el caso de las demoliciones o de los laboratorios, que provoquen una exposición a los agentes químicos peligrosos que componen el explosivo. Estos efectos tóxicos, como hemos visto en capítulos anteriores, pueden ser inmediatos, por lo que los trabajadores que los manejan deben estar

convenientemente informados y formados no solo para su manejo seguro, sino también para su manejo en condiciones higiénicas.



# CAPÍTULO

6

---

**BIBLIOGRAFÍA**

---

## 1. BIBLIOGRAFÍA

- 1.1. SANCHIDIRIÁN, J.A. & MUÑIZ, E. (2000) "Curso de tecnología de explosivos". Servicio de publicaciones Fundación Gómez Pardo, Madrid.
- 1.2. MEYER, R., KÖHLER, J. & HOMBURG, A. (2007) "Explosives" 7ª Edición. Wiley-VCH & Co. KGaA, Weinheim.
- 1.3. LLORENTE GÓMEZ, E. (1963) "Estudio de los explosivos industriales". Editorial Interciencia, Madrid.
- 1.4. URBANSKI, T. (1964). "Chemistry and Technology of Explosives Vol.I". Pergamon Press, Warszawa.
- 1.5. URBANSKI, T. (1965). "Chemistry and Technology of Explosives Vol.II". Pergamon Press, Warszawa.
- 1.6. URBANSKI, T. (1967). "Chemistry and Technology of Explosives Vol.III". Pergamon Press, Warszawa.
- 1.7. URBANSKI, T. (1984). "Chemistry and Technology of Explosives Vol.VI". Pergamon Press, Warszawa.
- 1.8. FEDOROFF, BASIL T. "Encyclopedia of explosives and relate items. 10 Volumes". Warheads, energetic and combat support center Picatinny arsenal New Jersey, USA.
- 1.9. BOLETÍN OFICIAL DE CASTILLA Y LEÓN. ORDEN FYM/333/2013, de 29 de abril, por la que se modifica la Orden de 6 de noviembre de 2007, de la Consejería de Medio Ambiente, por la que se concede Autorización Ambiental a la empresa Maxam Europe, S.A. para la fabricación de explosivos y planta de fabricación de hidrogeles ubicada en el término municipal de Quintanilla-Sobresierra (Burgos), como consecuencia de las Modificaciones No Sustanciales 1 y 2 (MNS n.º 1 y n.º 2).
- 1.10. BOLETÍN OFICIAL DEL PAÍS VASCO. Resolución de 25 de marzo de 2008, del Viceconsejero de Medio Ambiente, por la que se concede autorización ambiental integrada para la actividad de fabricación de pólvora y producción de explosivos, promovida por Maxamcorp, S.A.U. en el Término Municipal de Galdakao (Bizkaia).
- 1.11. PROQUILAB S.A. "Declaración de Impacto Ambiental de la ampliación de la planta de producción y comercialización de explosivos Maxam Chile S.A".
- 1.12. UEE, S.A., "Composición explosiva de tipo hidrogel y su procedimiento de fabricación". Patente de invención ES 2074952.
- 1.13. UEE, S.A. "Composición explosiva de tipo hidrogel y su procedimiento de fabricación". Patente de invención ES 2074953.
- 1.14. ULLMANN'S (2007). "Encyclopedia of Industrial Chemistry". Wiley.

- 1.15. INSHT (2010). "Riesgo químico: sistemática para la evaluación higiénica". Servicio de Ediciones y Publicaciones - INSHT. Madrid
- 1.16. BOE. "Real Decreto 374/2001 de 6 de abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con los agentes químicos durante el trabajo".
- 1.17. INSHT (2013). "Límites de exposición profesional".
- 1.18. INSHT. "NTP 878: Regulación UE sobre productos químicos (II). Reglamento CLP: aspectos básicos."
- 1.19. CC.OO. ISTAS & FUNDACIÓN PARA LA PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES (2009). "Nuevo Reglamento sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas, Guía para asesores de prevención". Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS).
- 1.20. INSHT. "NTP 935: Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (I). Aspectos generales."
- 1.21. INSHT. "NTP 936: Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (II). Modelo COSHH Essentials."
- 1.22. INSHT. "NTP 936: Agentes químicos: evaluación cualitativa y simplificada del riesgo por inhalación (III). Método basado en el INRS."
- 1.23. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2010). "Hazard Characterization Document: Polybutylene Succinic Anhydride Category".
- 1.24. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (2010). "Hazard Characterization Document: Sorbitan Esters Category".
- 1.25. SÁNCHEZ, F.J., GALINDO, H.M., CERÓN, A. "Producción de Monooleato de Sorbitol". Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

## 2. PÁGINAS WEB CONSULTADAS

- 2.1. European Chemicals Agency (ECHA). Registered substances.  
<http://echa.europa.eu/web/guest/information-on-chemicals/registered-substances>
- 2.2. Calculadores INSHT. Exposición a agentes químicos. Evaluación cualitativa.  
<http://riskquim.insht.es:86/riskquim/CB/default.asp>
- 2.3. INSHT. Aplicación Límites de exposición profesional 2013  
<http://bdlep.insht.es:86/LEP2013/>
- 2.4. MAXAM  
<http://www.maxam.net>
- 2.5. 3DChem (estructuras en 3D)  
<http://www.3dchem.com/atoz.asp>

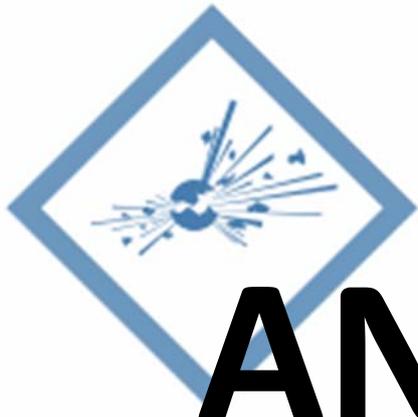
2.6. Wikipedia

<http://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>

### 3. FICHAS DE DATOS DE SEGURIDAD

- 3.1. MAXAM EUROPE S.A. FDS Goma 1
- 3.2. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riodin 9
- 3.3. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riodin
- 3.4. MAXAM EUROPE S.A. FDS Amonita 2L
- 3.5. MAXAM EUROPE S.A. FDS Ligamita 1
- 3.6. MAXAM EUROPE S.A. FDS Explosivo de seguridad N°20
- 3.7. MAXAM EUROPE S.A. FDS Rioxam AL
- 3.8. MAXAM EUROPE S.A. FDS Rioxam LP
- 3.9. MAXAM EUROPE S.A. FDS Rioxam ST
- 3.10. MAXAM EUROPE S.A. FDS Rioxam AL WR
- 3.11. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel Kupula
- 3.12. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel troner Plus
- 3.13. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel troner Plus R
- 3.14. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel troner
- 3.15. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel troner R
- 3.16. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel ST
- 3.17. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel XE
- 3.18. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogel HE
- 3.19. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogur F
- 3.20. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riogur R
- 3.21. MAXAM EUROPE S.A. FDS Permigel 1
- 3.22. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riomax
- 3.23. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riomex UG
- 3.24. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riomex 7000
- 3.25. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riomex 8000
- 3.26. MAXAM EUROPE S.A. FDS Riohit
- 3.27. MAXAM INTERNATIONAL. MSDS SENSITISER – MYCE-HPC 100.199
- 3.28. MAXAM INTERNATIONAL. MSDS SPA 3 CROSSLINKER SOLUTION
- 3.29. MAXAM TAN. FDS Nitrato amónico técnico

- 3.30. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1597. Aceite mineral
- 3.31. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0547. Acetato de potasio
- 3.32. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0369. Ácido adípico
- 3.33. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0183. Ácido Nítrico
- 3.34. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1553. Almidón
- 3.35. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0988. Aluminio en polvo
- 3.36. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0414. Amoniaco
- 3.37. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1051. Cloruro amónico.
- 3.38. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1051. Cloruro amónico.
- 3.39. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0036. Dibutilftalato
- 3.40. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1051. Cloruro amónico.
- 3.41. SHELL TRADING INTERNATIONAL LIMITED. MSDS Gasóleo
- 3.42. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0624. Glicerina
- 3.43. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0270. Monoetilenglicol
- 3.44. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0178. Monometilamina
- 3.45. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1228. Hexamina
- 3.46. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0185. Nitrato de sodio
- 3.47. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1560. Nitrocelulosa
- 3.48. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1120. Nitrito sódico
- 3.49. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0186. Nitroglicerina
- 3.50. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 1056. Nitroglicol
- 3.51. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0362. Ácido sulfúrico
- 3.52. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0715. Perclorato sódico
- 3.53. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0680. Tiourea
- 3.54. FICHA INTERNACIONAL DE SEGURIDAD QUÍMICA. ICSC: 0967. Trinitrotolueno
- 3.55. ASTURIANA DEL ZINC, S.A. FDS Óleum
- 3.56. MP BIOMEDICALS AUSTRALASIA. MSDS Piroantimoniato de Potasio
- 3.57. ACOFARMA. FDS Goma Guar.
- 3.58. CTR SCIENTIFIC. FDS carbonato de sodio.
- 3.59. CORQUIVEN C.A. FDS Cloruro sódico (sal Industrial)



# ANEXO

1

---

**MÉTODO COSHH ESSENTIALS**

---

El método Coshh Essentials es un modelo para determinar la medida de control adecuada a la operación que se está evaluando con objeto de reducir el riesgo por inhalación de agentes químicos hasta un nivel aceptable, y no propiamente para determinar el nivel de riesgo existente.

Para determinar estas medidas hemos de tener en cuenta tres variables: peligrosidad según frases H, tendencia a pasar al ambiente y cantidad de sustancia utilizada por operación.

## 1. PELIGROSIDAD SEGÚN FRASES H

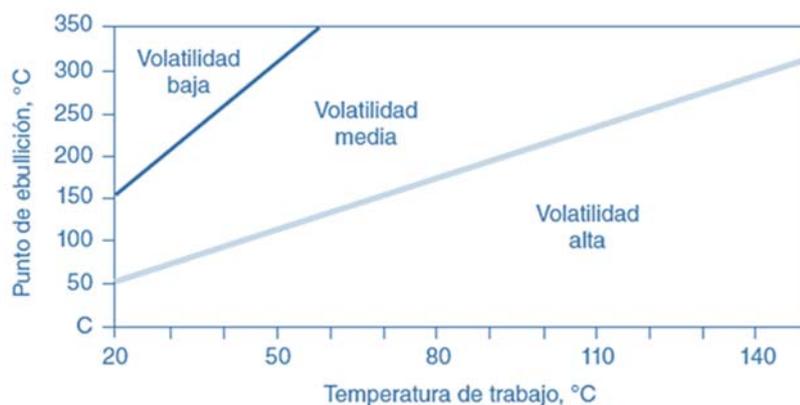
La peligrosidad de las sustancias, se clasifica en cinco categorías, A, B, C, D y E de nivel creciente, en función de las frases H que se obtienen a partir de las fichas de datos de seguridad.

A	H303, H304, H305, H313, H315, H316, H318, H319, H320, H333, H336 Cualquier sustancia sin frases H contenidas en los grupos B a E
B	H302, H312, H332, H371
C	H301, H311, H314, H317, H318, H331, H335, H370, H373
D	H300, H310, H330, H351, H360, H361, H362, H372
E	H334, H340, H341, H350

Cuando una sustancia tiene frases H que corresponden a distintas categorías, siempre se clasifica en la de mayor peligrosidad.

## 2. TENDENCIA A PASAR AL AMBIENTE

La tendencia a pasar al ambiente puede ser alta, media y baja, y se mide, en el caso de líquidos, por su volatilidad y la temperatura de trabajo, y en el de sólidos, por su tendencia a formar polvo cuando se manipulan.



En el caso de los sólidos se establecen los siguientes niveles de pulverulencia:

Baja	Media	Alta
Sustancias en forma de granza ( <i>pellets</i> ) que no tienen tendencia a romperse. No se aprecia polvo durante su manipulación. Ejemplos: granza de PVC, escamas, pepitas, lentejas de sosa, etc.	Sólidos granulares o cristalinos. Se produce polvo durante su manipulación, que se deposita rápidamente, pudiéndose observar sobre las superficies adyacentes. Ejemplo: polvo de detergente, etc.	Polvos finos y de baja densidad. Cuando se emplean se observa que se producen nubes de polvo que permanecen en suspensión durante varios minutos. Ejemplos: cemento, negro de humo, yeso, etc.

### 3. CANTIDAD DE SUSTANCIA

La cantidad de sustancia empleada se clasifica cualitativamente en pequeña, mediana o grande.

Cantidad de sustancia	Cantidad empleada por operación
Pequeña	Gramos o mililitros
Mediana	Kilogramos o litros
Grande	Toneladas o metros cúbicos

### 4. RESULTADOS

Teniendo en cuenta estas variables, mediante la siguiente matriz se obtiene el nivel de riesgo que presenta el agente químico.

Grado de peligrosidad	Volatilidad / Pulverulencia				
	Cantidad usada	Baja volatilidad o pulverulencia	Media volatilidad	Media	Alta volatilidad o pulverulencia
A	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	1	1	2
	Grande			2	2
B	Pequeña	1	1	1	1
	Mediana	1	2	2	2
	Grande	1	2	3	3
C	Pequeña	1	2	1	2
	Mediana	2	3	3	3
	Grande	2	4	4	4
D	Pequeña	2	3	2	3
	Mediana	3	4	4	4
	Grande	3	4	4	4
E	En todas las situaciones con sustancias de este grado de peligrosidad, se considerará que el nivel de riesgo es 4.				

#### 4.1. Riesgo potencial 1

En estas situaciones el control de la exposición podrá lograrse, normalmente, mediante el empleo de ventilación general. El modelo COSHH Essentials va algo más allá, e

incorpora la cantidad utilizada o manipulada y la tendencia a pasar al ambiente del agente químico, para obtener un juicio sobre la misma cuestión.

Es de destacar que si se expresa el riesgo leve en función de la cantidad (tal y como se menciona en el artículo 3.3 del RD 374/2001), se deduce que cuando la cantidad de agente químico utilizada o manipulada es baja, el riesgo siempre es leve para agentes del nivel de peligrosidad A y B. Para agentes de nivel de peligrosidad C también lo es cuando estos manifiestan poca tendencia a pasar al ambiente (baja volatilidad a la temperatura del proceso para líquidos, y pulverulencia baja o media para sólidos). No es posible una situación de riesgo leve cuando se trata con agentes de nivel de peligrosidad D o E.

#### **4.2. Riesgo potencial 2**

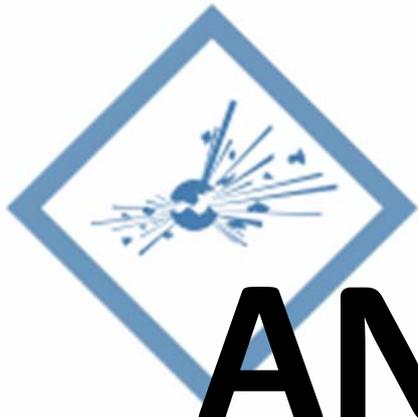
En estas situaciones habrá que recurrir a medidas específicas de prevención para el control del riesgo (artículo 5 del RD 374/2001). El tipo de instalación más habitual para controlar la exposición a agentes químicos es la extracción localizada, para cuyo diseño y construcción es necesario, en general, recurrir a suministradores especializados. Es importante elegir el suministrador atendiendo a la experiencia demostrada en este tipo de instalaciones, así como especificar con claridad que el objetivo de la instalación es conseguir que en los puestos de trabajo la concentración de las sustancias químicas se encuentre por debajo del valor de concentración que se le especifique.

#### **4.3. Riesgo potencial 3**

En estas situaciones habrá que acudir al empleo de confinamiento o de sistemas cerrados mediante los cuales no exista la posibilidad de que la sustancia química pase a la atmósfera durante las operaciones ordinarias. Siempre que sea posible, el proceso deberá mantenerse a una presión inferior a la atmosférica a fin de dificultar el escape de las sustancias.

#### **4.4. Riesgo potencial 4**

Las situaciones de este tipo son aquéllas en las que, o bien se utilizan sustancias muy tóxicas o bien se emplean sustancias de toxicidad moderada en grandes cantidades y con una capacidad media o elevada de pasar a la atmósfera. Hay que determinar si se emplean sustancias cancerígenas y/o mutágenas reguladas por el RD 665/1997 y sus dos modificaciones. En estos casos es imprescindible adoptar medidas específicamente diseñadas para el proceso en cuestión, recurriendo al asesoramiento de un experto. Este nivel de riesgo requiere normalmente la evaluación cuantitativa de la exposición, así como extremar la frecuencia de la verificación periódica de la eficacia de las instalaciones de control.



# ANEXO

2

---

MÉTODO DEL INRS

---

La evaluación simplificada del riesgo por inhalación de agentes químicos, que propone el método del INRS se realiza a partir de las siguientes variables: riesgo potencial, propiedades físico-químicas (la volatilidad o la pulverulencia, según el estado físico), procedimiento de trabajo, medios de protección colectiva (ventilación), un factor de corrección ( $FC_{VLA}$ ), cuando el valor límite ambiental (VLA) del agente químico sea muy pequeño, inferior a  $0,1 \text{ mg/m}^3$ . Para cada variable se establecen unas clases y una puntuación asociada a cada clase. La puntuación del riesgo se calcula a partir de la puntuación obtenida para estas cuatro variables y los factores de corrección que sean aplicables.

## 1. PELIGROSIDAD SEGÚN FRASES H

La peligrosidad de las sustancias, se clasifica en cinco clases, 1, 2, 3, 4 y 5 de nivel creciente en función de las frases H que se obtienen a partir de las fichas de datos de seguridad.

Clase de peligro	Frases R	Frases H	VLA $\text{mg/m}^3$ <sup>(1)</sup>	Materiales y procesos
1	Tiene frases R, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	Tiene frases H, pero no tiene ninguna de las que aparecen a continuación	> 100	
2	R37 R36/37, R37/38, R36/37/38 R67	H335 H336	> 10 ≤ 100	Hierro / Cereal y derivados / Grafito Material de construcción / Talco Cemento / Composites Madera de combustión tratada Soldadura Metales-Plásticos Material vegetal-animal
3	R20 R20/21, R20/22, R20/21/22 R33 R48/20, R48/20/21, R48/20/22, R48/20/21/22 R62, R63, R64, R65 R68/20, R68/20/21, R68/20/22, R68/20/21/22	H304 H332 H361, H361d, H361f, H361fd H362 H371 H373 EUH071	> 1 ≤ 10	Soldadura inoxidable Fibras cerámicas-vegetales Pinturas de plomo Mueles Arenas Aceites de corte y refrigerantes
4	R15/29 R23 R23/24, R23/25, R23/24/25 R29, R31 R39/23, R39/23/24, R39/23/25, R39/23/24/25 R40, R42 R42/43 R48/23, R48/23/24, R48/23/25, R48/23/24/25 R60, R61, R68	H331 H334 H341 H351 H360, H360F, H360FD, H360D, H360DI, H360FD H370 H372 EUH029 EUH031	> 0,1 ≤ 1	Maderas blandas y derivados Plomo metálico Fundición y afinaje de plomo
5	R26, R26/27, R26/28, R26/27/28 R32, R39 R39/26 R39/26/27, R39/26/28, R39/26/27/28 R45, R46, R49	H330 H340 H350 H350i EUH032 EUH070	≤ 0,1	Amianto <sup>(2)</sup> y materiales que lo contienen Betunes y breas Gasolina <sup>(3)</sup> (carburante) Vulcanización Maderas duras y derivados <sup>(4)</sup>

(1) Cuando se trate de materia particulada, este valor se divide entre 10  
(2) Posee legislación específica y requiere de evaluación cuantitativa obligatoria por ser cancerígeno.  
(3) Se refiere únicamente al trabajo en contacto directo con este agente.  
(4) Se refiere a polvo de maderas considerado como cancerígeno.

## 2. RIESGO POTENCIAL

El cálculo del riesgo potencial se hace a partir del peligro, la cantidad absoluta de agente químico y la frecuencia de utilización.

Clase de cantidad	Cantidad/día
1	< 100 g ó ml
2	≥ 100 g ó ml y < 10 Kg ó l
3	≥ 10 y < 100 Kg ó l
4	≥ 100 y < 1000 Kg ó l
5	≥ 1000 Kg ó l

Utilización	Ocasional	Intermitente	Frecuente	Permanente
Día	≤ 30'	> 30' - ≤ 120'	> 2 - ≤ 6 h	> 6 horas
Semana	≤ 2 h	> 2-8 h	1-3 días	> 3 días
Mes	1 día	2-6 días	7-15 días	> 15 días
Año	≤ 15 días	> 15 días - ≤ 2 meses	> 2 - ≤ 5 meses	> 5 meses
Clase →	1	2	3	4
0: El agente químico no se usa hace al menos un año. El agente químico no se usa más.				

Clase de exposición potencial.

Clase de cantidad						
5	0	4	5	5	5	
4	0	3	4	4	5	
3	0	3	3	3	4	
2	0	2	2	2	2	
1	0	1	1	1	1	
	0	1	2	3	4	Clase de frecuencia

Clase de riesgo potencial

Clase de exposición potencial						
5	2	3	4	5	5	
4	1	2	3	4	5	
3	1	2	3	4	5	
2	1	1	2	3	4	
1	1	1	2	3	4	
	1	2	3	4	5	Clase de peligro

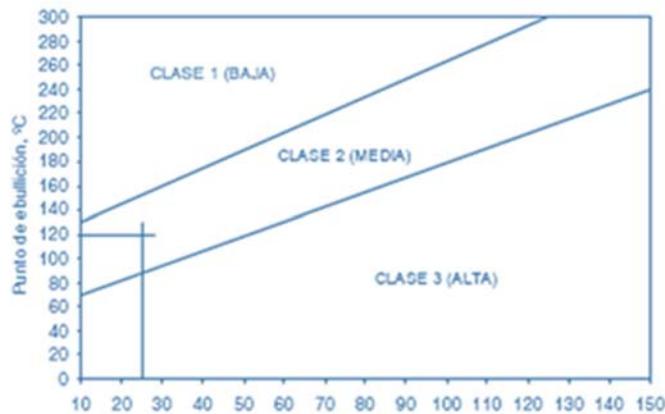
Clase de riesgo potencial	Puntuación de riesgo potencial
5	10.000
4	1.000
3	100
2	10
1	1

### 3. TENDENCIA A PASAR AL AMBIENTE

La tendencia del agente químico a pasar al ambiente se establece en función del estado físico. Para los sólidos se establecen tres clases de pulverulencia. Para los líquidos existen tres clases de volatilidad, en función de la temperatura de ebullición y la temperatura de utilización del agente químico. En caso de duda se debe optar por la categoría superior, para tomar la opción más desfavorable. Si el proceso se desarrolla a distintas temperaturas, para calcular la volatilidad debe usarse la temperatura más alta.

Descripción del material sólido	Clase de pulverulencia
Material en forma de polvo fino, formación de polvo que queda en suspensión en la manipulación (p.e. azúcar en polvo, harina, cemento, yeso...).	3
Material en forma de polvo en grano (1-2 mm). El polvo sedimenta rápido en la manipulación (p.e. azúcar consistente cristalizada).	2
Material en pastillas, granulado, escamas (varios mm o 1-2 cm) sin apenas emisión de polvo en la manipulación.	1

Presión de vapor a la temperatura de trabajo	Clase de volatilidad
$P_v < 0,5 \text{ KPa}$	1
$0,5 \text{ KPa} \leq P_v < 25 \text{ KPa}$	2
$P_v \geq 25 \text{ KPa}$	3



Clase de volatilidad o pulverulencia	Puntuación de volatilidad o pulverulencia
3	100
2	10
1	1

## 4. CORRECCIONES POR EL PROCEDIMIENTO DE TRABAJO

Dispersivo	Abierto	Cerrado/abierto regularmente	Cerrado permanente
 <p><b>Ejemplos:</b> Pintura a pistola, taladro, muela, vaciado de sacos a mano, de cubos... Soldadura al arco... Limpieza con trapos. Máquinas portátiles (sierras, cepillos...)</p>	 <p><b>Ejemplos:</b> Conductos del reactor, mezcladores abiertos, pintura a brocha, a pincel, puesto de acondicionamiento (toneles, bidones...). Manejo y vigilancia de máquinas de impresión...</p>	 <p><b>Ejemplos:</b> Reactor cerrado con cargas regulares de agentes químicos, toma de muestras, máquina de desengrasar en fase líquida o de vapor...</p>	 <p><b>Ejemplos:</b> Reactor químico.</p>
Clase 4	Clase 3	Clase 2	Clase 1
Puntuación de procedimiento			
1	0,5	0,05	0,001

## 5. CORRECCIONES POR LAS MEDIDAS PREVENTIVAS Y EL VALOR LÍMITE AMBIENTAL

Trabajo en espacio con aberturas limitadas de entrada y salida y ventilación natural desfavorable 		Ausencia de ventilación mecánica 	
Clase 5, puntuación = 10		Clase 4, puntuación = 1	
Trabajos en intemperie 	Trabajador alejado de la fuente de emisión 	Ventilación mecánica general 	
Clase 3, puntuación = 0,7			
Campana superior 	Rendija de aspiración 	Mesa con aspiración 	Aspiración integrada a la herramienta 
Clase 2, puntuación = 0,1			
Cabina de pequeñas dimensiones ventilada 	Cabina horizontal 	Cabina vertical 	Captación envolvente (vitrina de laboratorio) 
Clase 2, puntuación = 0,1			Clase 1, puntuación = 0,001

VLA	FC <sub>VLA</sub>
VLA > 0,1	1
0,01 < VLA ≤ 0,1	10
0,001 < VLA ≤ 0,01	30
VLA ≤ 0,001	100

## 6. CÁLCULO DE LA PUNTUACIÓN DEL RIESGO POR INHALACIÓN

Una vez que se han determinado las clases de riesgo potencial, de volatilidad, de procedimiento y de protección colectiva y se han puntuado de acuerdo a los criterios anteriormente indicados, se calcula la puntuación del riesgo por inhalación ( $P_{inh}$ ) aplicando la siguiente fórmula:

$$P_{inh} = P_{riesgo\ potencial} \cdot P_{volatilidad} \cdot P_{procedimiento} \cdot P_{prot.colectiva} \cdot FC_{VLA}$$

Puntuación del riesgo por inhalación	Prioridad de acción	Caracterización del riesgo
> 1.000	1	Riesgo probablemente muy elevado (medidas correctoras inmediatas)
> 100 y ≤ 1.000	2	Riesgo moderado. Necesita probablemente medidas correctoras y/o una evaluación más detallada (mediciones)
≤ 100	3	Riesgo a priori bajo (sin necesidad de modificaciones)