

Tecnología de los Explosivos

Tema 1.3. Los explosivos industriales. Propiedades y fabricación



Rubén Pérez Álvarez

Departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos

Este tema se publica bajo Licencia:

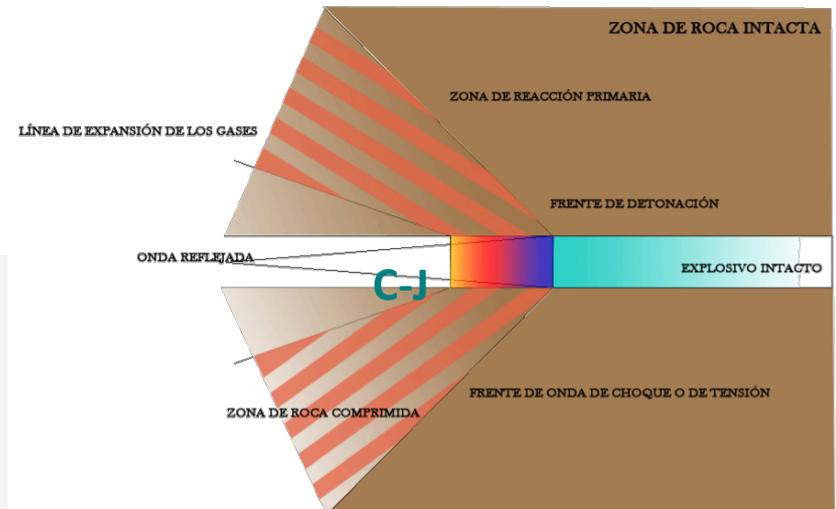
[Creative Commons BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

EL PROCESO DE DETONACIÓN

Proceso consistente en la propagación de una reacción química a través del explosivo a una velocidad superior a la del sonido en dicho material, transformándolo en nuevas sustancias químicas. Estas reacciones son iniciadas y soportadas por una onda de choque supersónica.

En cabeza viaja un choque puro, que inicia la transformación química, verificada en la zona de reacción, que concluye en el denominado plano de Chapmant-Jouguet, C-J, en el que asumiendo una detonación ideal se verificaría el equilibrio entre reactivos y productos.

Tras el plano C-J se encuentran los productos de la reacción, y en ocasiones partículas inertes. La mayor parte de dichos productos de reacción son gases a entre 1500 y 4000°C y presiones entre 2 y 10 Gpa. Los gases en dichas condiciones se expanden rápidamente y producen un choque u onda de tensión alrededor del medio que les rodea.



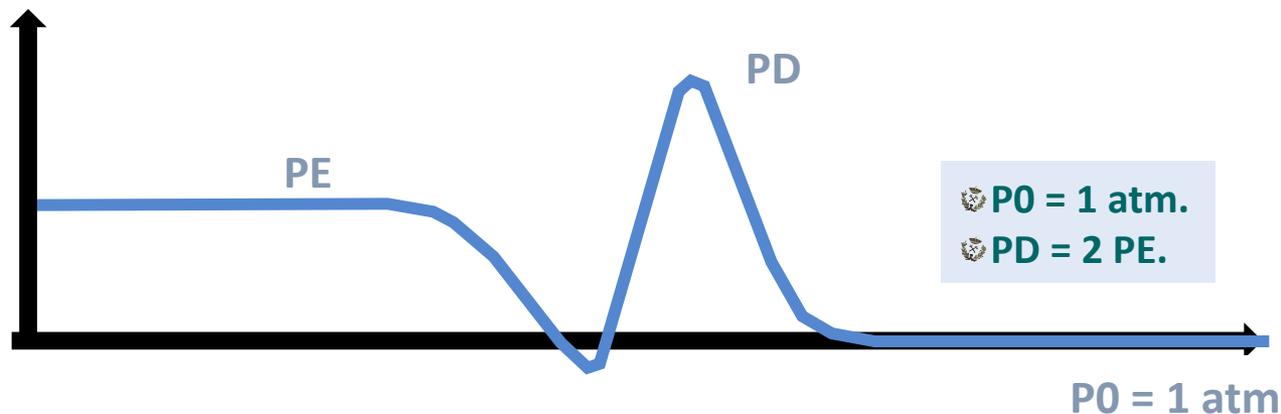
EL PROCESO DE DETONACIÓN

Relación entre la velocidad de detonación y la presión de detonación, asociada a la onda de choque:

$$PD = \frac{\rho_e \cdot VD^2}{4}$$

- 🏆 PD = presión de detonación (KPa).
- 🏆 ρ_e = densidad del explosivo (g/cm³).
- 🏆 VD = velocidad de detonación (m/s).

La presión termoquímica o máxima disponible para efectuar un trabajo "PE", por lo general vale la mitad de la presión de detonación. La figura adjunta muestra las presiones a lo largo de la columna de explosivo asociada a un barrenado.

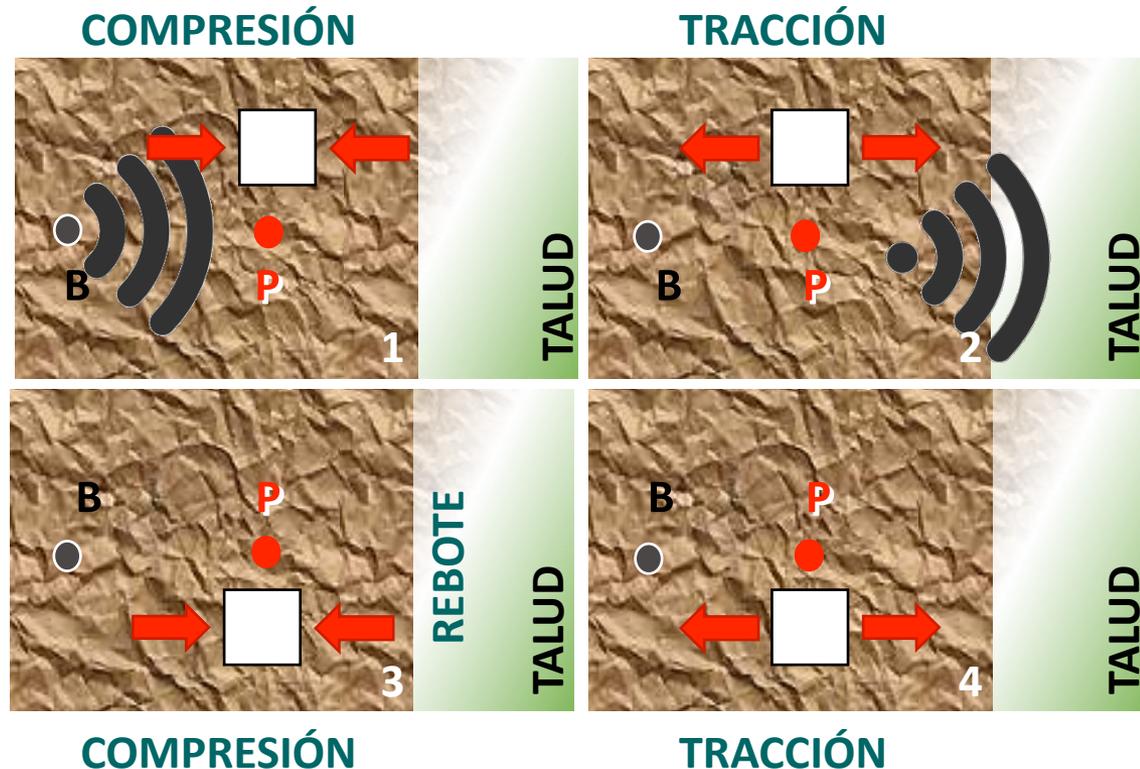


EL PROCESO DE ROTURA

La reacción experimentada por los explosivos conlleva dos efectos fundamentales:

- 1^{er} efecto (**ASOCIADO AL PODER ROMPEDOR**): debido a la onda de detonación generada como consecuencia de la explosión. Esta onda de choque se traslada a velocidades del orden de 3000 a 5000 m/s, en función del tipo de roca.
- 2^o efecto: consecuencia del volumen de gases a alta presión y temperatura.

Considerando la imagen en planta, al llegar a un punto cercano a un barrenno, la onda de detonación ejerce una acción compresiva (1). Al sobrepasarlo, de tracción (2). La resistencia a tracción de una roca es de 10 a 100 veces menor que la de compresión, por lo que es esa tracción la que facilita la rotura. El rebote en la cara libre (3) intensifica el fenómeno asociado al desplazamiento de la onda de choque.



EL PROCESO DE ROTURA

1. TRITURACIÓN DE LA ROCA POR LA ONDA DE CHOQUE

La onda de detonación, por la compresión, genera la trituración de la roca en un anillo de radio comprendido entre 2 y 4 veces el diámetro del barreno.

2. AGRIETAMIENTO RADIAL POR TRACCIÓN

Creación de fisuras de tipo radial, en el entorno de la zona triturada, por esfuerzo de tracción inducida

3. REFLEXIÓN DE LA ONDA DE CHOQUE EN LAS CARAS LIBRES

La onda de choque se refleja en la cara libre, produciendo efectos añadidos de tracción y cizalla.

4. APERTURA DE LA GRIETA POR LOS GASES

Los gases producidos en la explosión, a elevada presión y temperatura penetran por las fisuras abriéndolas, fragmentando y proyectando la roca hacia delante en el frente libre.

1.3. Los explosivos industriales. Propiedades y fabricación

DEFINICIÓN DE LOS EXPLOSIVOS

Los explosivos industriales están constituidos por una mezcla de sustancias, unas combustibles y otras oxidantes, que debidamente iniciadas, dan lugar a una reacción química de gran rapidez. Tal reacción genera gases a alta temperatura y presión.

Cada tipo de explosivo se caracterizará por una composición específica, por lo que contarán con características diversas, pudiendo seleccionar para cada ocasión el explosivo más adecuado.

PROPIEDADES DE LOS EXPLOSIVOS

-  **POTENCIA EXPLOSIVA.**
-  **PODER ROMEDOR.**
-  **VELOCIDAD DE DETONACIÓN.**
-  **DENSIDAD DE ENCARTUCHADO.**
-  **RESISTENCIA AL AGUA CALIDAD DE HUMOS.**
-  **SENSIBILIDAD.**
-  **ESTABILIDAD QUÍMICA.**

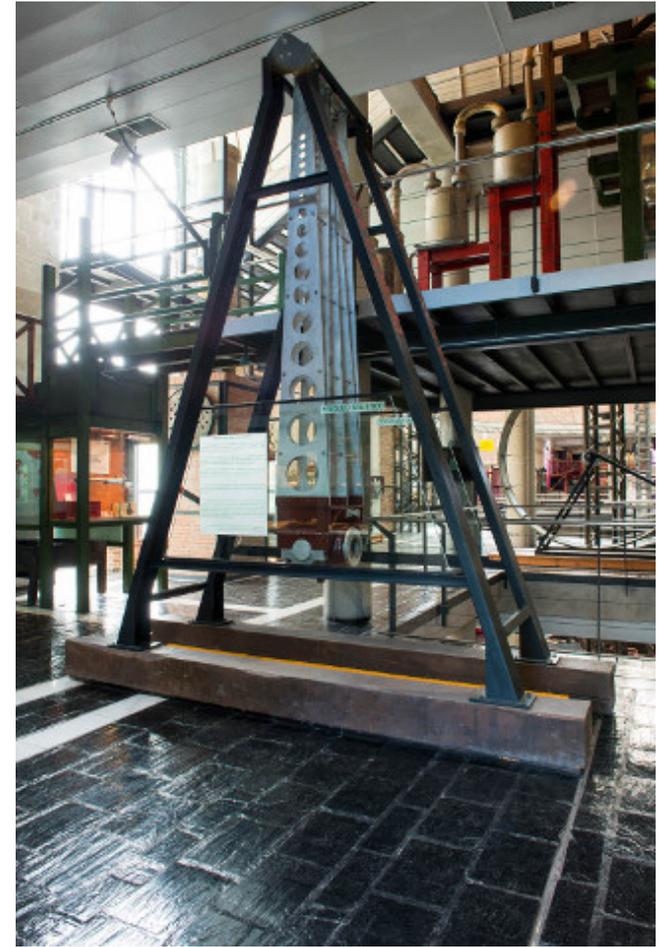
POTENCIA EXPLOSIVA

Capacidad del explosivo de quebrantar y proyectar la roca, por la acción conjunta de la onda de detonación y la presión de gases. Es función de la composición del explosivo, y puede optimizarse adecuando la voladura. Se puede valorar, entre otros, con el péndulo balístico o el Método de Trauzl.

El **Péndulo Balístico** (comparando con la potencia explosiva de la goma pura, al que se asigna un 100%)

$$T.B.M = 100 \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{1 - \cos \beta}$$

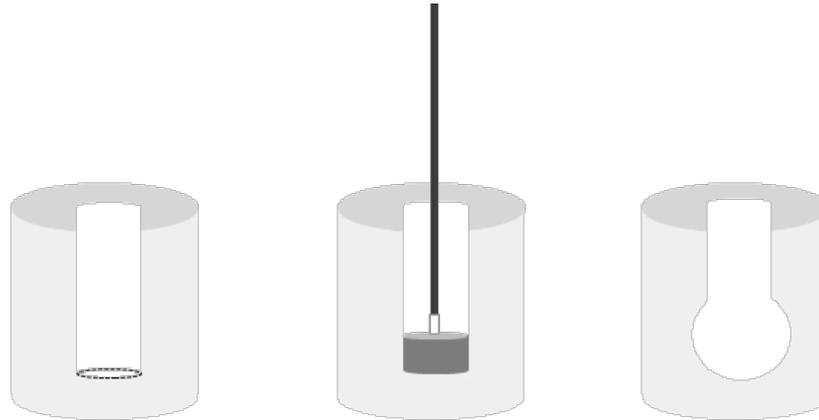
Donde α y β son los ángulos registrados en el retroceso del péndulo, correspondientes al explosivo a ensayar y al explosivo patrón (goma pura).



Péndulo Balístico.

Fuente: http://www.mumi.es/wp-content/uploads/2014/12/pendulo_balistico1.jpg.

POTENCIA EXPLOSIVA



HUECO INICIAL (60 CM³), EN
BLOQUE DE PLOMO DE 20 X
20

DETONADOR + 10 g
DE EXPLOSIVO

HUECO FINAL

Volumen de Trauzl: volumen medido tras la explosión en centímetros cúbicos (sin descontar el volumen inicial de la cavidad, ni el incremento de volumen debido al detonador).

Ensanchamiento de Trauzl (o volumen real): volumen de Trauzl menos la suma del volumen inicial y en incremento de volumen debido al detonador.

ÍNDICE DE TRAUZL: cociente entre el ensanchamiento de Trauzl del explosivo ensayado y el ácido pícrico, explosivo utilizado como patrón.

POTENCIA EXPLOSIVA

 La determinación de la **Energía Relativa por unidad de peso y volumen** (adecuado para explosivos insensibles al detonador). Conviene destacar los siguientes parámetros.

AWS: Energía absoluta por unidad de peso [cal/g].

ABS: Energía absoluta por unidad de volumen [cal/cm³].

A partir de ellos se obtendrá la Energía Relativa por unidad de peso (RWS) y volumen (RBS) respecto al ANFO.

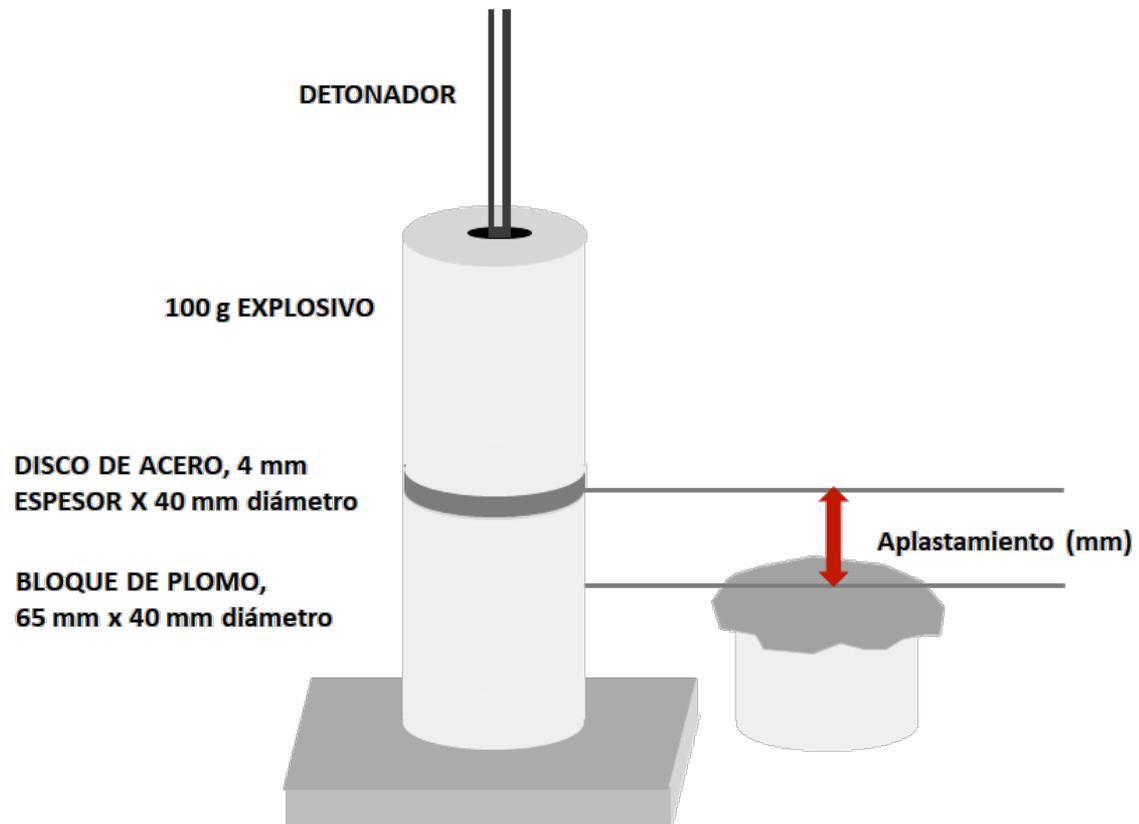
$$RWS = (AWS / AWS_{ANFO}) \cdot 100$$

$$RBS = (ABS / ABS_{ANFO}) \cdot 100$$

La instauración de la determinación de la Energía Relativa responde a un aspecto fundamental: para poder comparar con goma pura, ésta debe fabricarse (es el explosivo más potente conocido, más incluso que la nitroglicerina, siendo su composición de un 92% en Nitroglicerina, y 8 % Nitrocelulosa), y eliminar el excedente tras el proceso, con los riesgos que conlleva. Resulta más cómodo referenciar respecto al ANFO. Dadas las características de potencia y densidad de éste, los restantes explosivos darán valores de RWS superiores a 1, y de RBS aún mayores.

PODER ROMPEDOR

Característica del explosivo, que indica la capacidad de quebrantar la roca debida a la onda de detonación únicamente (no al conjunto onda de detonación + presión de gases). Es parámetro muy importante en explosivos de empleo con bajo grado de confinamiento, ya que sus gases no pueden ejercer grandes presiones (Ej: cargas para taqueo). **Se caracteriza mediante el método de Hess.**

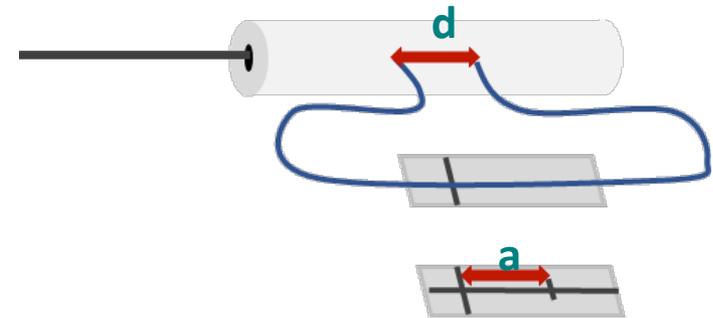


DISTINCIÓN DE LA ENERGÍA BAJO EL AGUA

Permite diferenciar la energía de tensión (energía de la onda de choque) de la energía de expansión de los gases. El explosivo, al dispararse en un medio homogéneo, actúa sin distorsión direccional y la ubicación de sensores de lectura diferencian ambos impulsos, que podrán comprobarse con el explosivo patrón con gran exactitud.

VELOCIDAD DE DETONACIÓN

Tradicionalmente se basaba en comparar la "VD" del explosivo con la velocidad ya conocida de un cordón detonante (7000 m/s). En un cordón con una longitud determinada y se marca el punto medio, haciéndolo coincidir con una señal efectuada sobre una plancha de plomo en la cual se apoya, y a continuación, se insertan los extremos del cordón dentro del explosivo a una distancia prefijada "d". La carga de explosivo, que puede estar alojada en un tubo metálico, se inicia en uno de los lados con un detonador. Como la onda de choque energiza a su vez en instantes diferentes a los extremos del cordón, la colisión de las ondas 1 y 2 tiene lugar sobre la plancha a una distancia "a" del punto medio del cordón. La "VD" del explosivo se determinará:



$$\frac{L + a}{VD_C} = \frac{L - a}{VD_C} + \frac{d}{VD_e}; \frac{2a}{VD_C} = \frac{d}{VD_e}$$

En la actualidad, en lugar de cordón detonante sensores eléctricos o de fibra óptica conectada a un cronógrafo que detecte el tiempo de activación, pudiendo incluso proporcionar directamente el valor de dicha velocidad.

DENSIDAD DE ENCARTUCHADO

Característica de gran importancia en explosivos industriales. A mayor sea la densidad del explosivo, mayor será la concentración de carga para un diámetro de barreno determinado. La carga de explosivos de densidad inferior a $1,1 \text{ gr/cm}^3$ en barrenos con agua es muy laboriosa (los cartuchos tienden a flotar).

HUMOS Y CALIDAD DE LOS MISMOS

Conjunto de productos gaseosos resultantes de la reacción de detonación (vapores nitrosos, vapor de agua, monóxido de carbono y anhídrido carbónico).

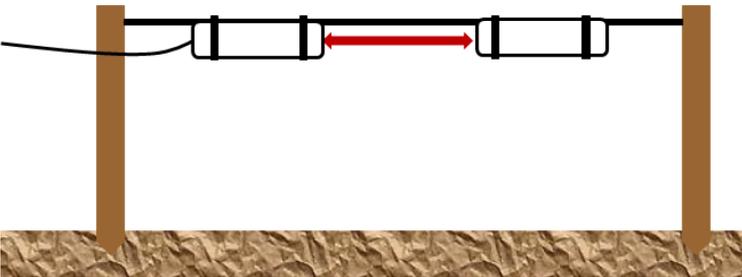
	HUMOS NOCIVOS
CATEGORÍA A	< 2,27 l/100 gr explosivo
CATEGORÍA B	2,27 - 4,67 l/100 gr explosivo
CATEGORÍA C	> 4,67 l/100 gr explosivo

SENSIBILIDAD

Mayor o menor grado de Energía que ha de comunicársele a un explosivo para que se produzca la explosión. Se consideran distintos tipos de sensibilidad:

Sensibilidad al detonador:

Los explosivos industriales suelen iniciarse mediante la detonación de un explosivo de elevada potencia, alojado en el detonador, en un cordón detonante o en el multiplicador (empleado en el caso de explosivos que no son sensibles al detonador). Existen explosivos no sensibles al detonador, en ese caso es habitual recurrir al multiplicador (pastilla cilíndrica de explosivo de elevada potencia sensible al detonador).



Sensibilidad a la onda explosiva. Transmisión por simpatía:

Capacidad de transmisión entre los cartuchos de explosivo, colocados en línea, a continuación unos de otros, y separados una determinada distancia. Los ensayos se realizan bien sobre placa de hierro, o al aire (obtener resultados positivos en estas circunstancias garantizan buenas voladuras, ya que la sensibilidad en el interior de un barreno es sensiblemente superior). Aún a pesar de la sensibilidad característica a la onda explosiva, ha de asegurarse la detonación en el caso de cargas discontinuas, por lo que se emplea cordón detonante, o un sistema adecuado de iniciación a lo largo de la carga.

SENSIBILIDAD

Sensibilidad al choque y al rozamiento:

Ciertos explosivos industriales se inician al ser sometidos a impacto o fricción.

Para determinar la sensibilidad al choque se realizan ensayos normalizados, consistentes en dejar caer un martillo sobre la muestra de explosivo a ensayar, para determinar la mínima altura de caída que produce la detonación, mientras que en el caso de la sensibilidad a la fricción, se emplea otro ensayo normalizado que valora la fuerza mínima de rozamiento capaz de soportar el explosivo sin que acontezca la detonación.

Sensibilidad al calor:

Al determinarla se valora la temperatura a la que el explosivo desprende gases, verificándose una pequeña explosión (punto de ignición). En las pólvoras dicha temperatura es de 325°C, y en los explosivos sensibilizados con nitroglicerina a los 200°C.

SENSIBILIDAD

Respuesta a la llama

Es interesante conocer la respuesta del explosivo a la acción del fuego. La pólvora por ejemplo soporta bien el calor, pero no así la llama, ya que es muy inflamable, aún incluso por efecto de una simple chispa.

ESTABILIDAD QUÍMICA

Aptitud que el explosivo posee para mantenerse químicamente inalterado con el paso del tiempo. Está garantizada si las condiciones de humedad, temperatura y ventilación, y el periodo de almacenamiento son las adecuadas.

RESUMEN DE PROPIEDADES

EXPLOSIVO	DENSIDAD (gr/cm ³)	CALOR DE EXPLOSIÓN (MJ/kg)	VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	ENERGÍA RELATIVA EFECTIV (ANFO: 100%)		VOLUMEN DE GASES (l/Kg)	CALIDAD DE HUMOS RESIDUALES (l/100g)
				WS (PRP)	BS (ERV)		
RIODIN	1.45	4.1	6000	135	244	895	< 2.27
RIODIN PLUS	1.5	3.9	5500	127	237	832	< 2.27
RIODIN PLUS MD	1.45	4.7	6200	151	273	878	< 2.27
RIODIN 9	1.65	2.7	5200	87	180	515	2.27 A 4.67
LIGAMITA 1	1.15	4	4300	119	171	901	< 2.27
AMONITA 2I	1.1	3.6	4100	107	147	911	2.27 A 4.67
NAGOLITA	0.8	3.9	4000	100	100	978	2.27 A 4.67
RIOGEL TRONER	1.25	3.5	5000	108	169	886	2.27 A 4.67
RIOGEL TRONER PLUS	1.3	4.3	5500	128	208	886	2.27 A 4.67
RIOMAX	1.115	3.9	4300	116	166	921	< 2.27
RIOFLEX U	1.1	2.84	4400	95	131	1006	2.27 A 4.67
RIOFLEX T	1.22	3.19	5200	103	154	988	< 2.27
RIOGUR R	1.15	3.54	3900	107	157	932	2.27 A 4.67
RIOGUR FCD	1.18	3.46	7200	105	155	938	2.27 A 4.67
RIOMEX 320	1.2	3	5400	98	147	914	2.27 A 4.67
RIOMEX E24	1.2	3.8	5400	109	164	864	2.27 A 4.67
RIOMEX E26	1.2	4.1	5400	114	171	840	< 2.27
RIOMEX E28	1.2	4.4	5400	118	176	821	< 2.27

FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

Por lo general presentan elevadas densidades, energía y velocidades de detonación. De uso común en el sector militar, algunas cuentan con importantes aplicaciones civiles.

PRINCIPALES GRUPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

1. AROMÁTICOS NITRADOS.
2. ÉSTERES NÍTRICOS.
3. NITRAMINAS.

Es frecuente la mezcla homogénea de dos sustancias explosivas. Todos se preparan por **NITRACIÓN***.

* Acción del ácido nítrico sobre un compuesto orgánico. Introducción de un grupo NO₂ en sustitución de un átomo de Hidrógeno o de otro grupo, por adición a un enlace doble. Es una operación por lo general peligrosas, por lo que se hace con cantidades pequeñas de producto para reducir la probabilidad de explosión.

FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

1.- AROMÁTICOS NITRADOS

Las limitaciones impuestas en Europa a la fabricación de derivados del tolueno hace que ya no se fabriquen en España.

En ellos un grupo NO_2 se une a un carbono de anillo bencénico.

Su balance de oxígeno, muy negativo, hace que no sean demasiado enérgicos.

TRILITA (TNT), $\text{C}_6\text{H}_2(\text{NO}_2)_3\text{CH}_3$

Trinitrotolueno. Tiene potencia media. Alto calor de explosión (1000 kcal/kg). Genera un volumen de gases de 700 l/kg.

El ensanchamiento en bloque de plomo que produce es de unos 300 cm^3 . Índice de Trauzl = 94.

Velocidad de detonación 6900 m/s a 1,6 gr/cm^3 .

Poco sensible, por lo que se emplea como flegmatizante de otros explosivos más potentes y sensibles, como la pentrita.

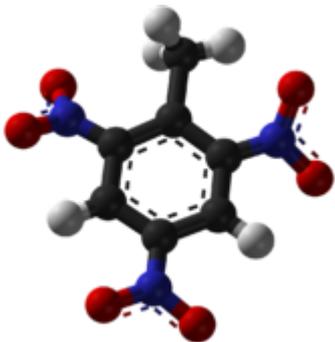


Imagen de Dominio Público.

PUEDE ENCONTRARSE TAMBIÉN EN:

LIGAMITA: sensibilizada con nitroglicerina y trilita.

SABULITA: con base de nitrato amónico.

Hidrogeles: actuando como sensibilizante y combustible.

BOOSTERS: en combinación con pentrita o exógeno al 50%.

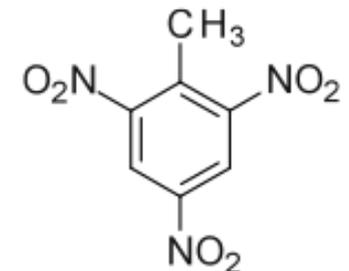


Imagen de Dominio Público.

FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS



Imagen de Dominio Público

1.- AROMÁTICOS NITRADOS

TRILITA (TNT), $C_6H_2(NO_2)_3CH_3$

Lo ideal es la reacción es tener un balance de oxígeno estequiométrico, de tal modo que todos los gases sean de combustión completa. La mayoría de los explosivos son deficientes de oxígeno, y dado que la explosión suele ser confinada, no se consume oxígeno atmosférico, lo que obliga a equilibrar el explosivo comercial con sustancias excedentarias en dicho elemento para alcanzar la combustión total.

REACCIÓN EN DEFECTO DE OXÍGENO:



REACCIÓN CON AJUSTE ESTEQUIOMÉTRICO PERFECTO DE OXÍGENO



DÉFICIT DE OXÍGENO:

$$100 - \frac{2 \cdot (2 \cdot 3) \cdot 100}{2 \cdot 2 \cdot (3) + (21/2) \cdot 2} = 63,6\%$$

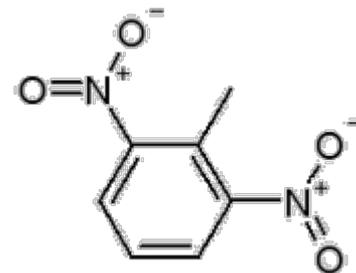
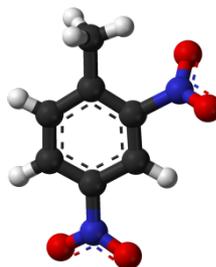
FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

1.- AROMÁTICOS NITRADOS

DINITROTOLUENO (DNT), $C_6H_3(CH_3)(NO_2)_2$

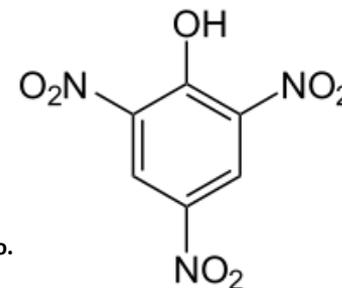
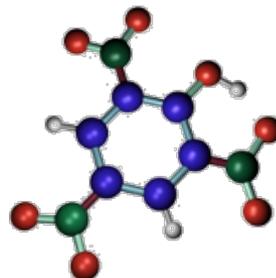
Procedente de la doble nitración del benceno, empleado como combustible y plastificante en algún caso (goma 2-EC).

También se emplea en pólvoras como plastificante junto a la nitrocelulosa.



ÁCIDO PÍCRICO, $C_6H_2OH(NO_2)_3$

En desuso actualmente por su acidez. Sus propiedades explosivas son incluso superiores a las de la trilita. Se emplea como explosivo patrón en el Ensayo de Trauzl.



Las limitaciones impuestas en Europa a la fabricación de derivados del tolueno hace que ya no se fabriquen en España.

FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

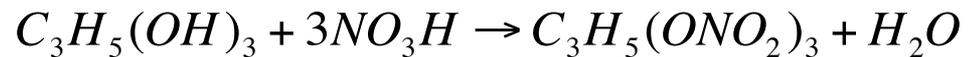
Obtenidos al nitrar alcoholes. El grupo nitro se une al oxígeno del grupo OH: **R-O-NO₂**. Son compuestos incoloros, muy sensibles a impacto y fricción, poco estables a la temperatura. Tienen un balance equilibrado de oxígeno, lo que les convierte en explosivos potente. Son vasodilatadores en mayor o menor medida.

NITROGLICERINA

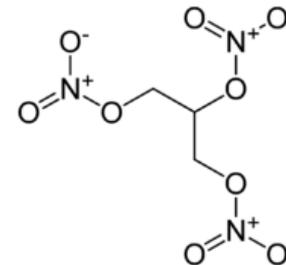
Nitrato de glicerol (NG). Obtenida por Ascanio Sobrero (1847), su empleo se vió retrasado por el riesgo asociado a su manejo.

REACCIÓN PARA LA FABRICACIÓN:

Líquido oleoso, viscoso e incoloro. Funde a 13°C y ebulle a 180°C, descomponiéndose. Su densidad es de 1,6 gr/cm³ a 15°C. Poco estable al calor. Detona a 217°C por calentamiento progresivo. Explosivo potente, equilibrado en oxígeno (+3,5%).



GLICERINA + ÁCIDO NÍTRICO = NITROGLICERINA + AGUA



FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

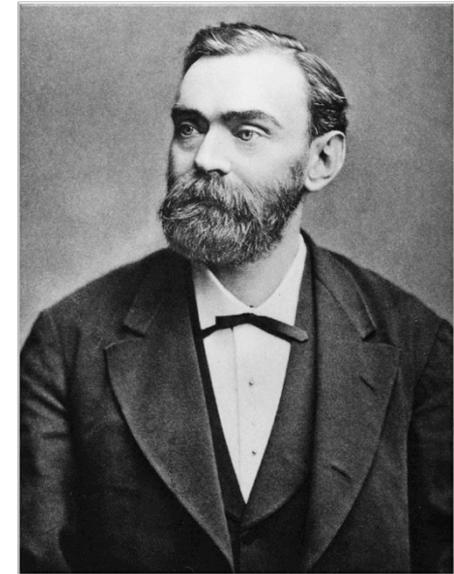
NITROGLICERINA

En 1862 Nobel construyó la primera fábrica de NG. Al principio se iniciaba mediante pólvora negra, hasta la invención de los detonadores de fulminato de Hg (Nobel). La excesiva sensibilidad se resolvió mediante la absorción de la NG en tierra de diatomeas (Kieselguhr), en proporción de 75% NG frente a 25% Kieselguhr.

PROPIEDADES

CALOR DE COMBUSTIÓN: 1500 kcal/kg.
ENSANCHAMIENTO TRAUZL: 590 cm³ bien iniciada.
ÍNDICE DE TRAUZL: 160.
VELOCIDAD DE DETONACIÓN: 7700 m/s.
DIÁMETRO CRÍTICO: 1 a 4 mm.
SENSIBILIDAD A IMPACTO: 0,3 J (líquida).
SENSIBILIDAD A FRICCIÓN: > 360 N.
MUY SENSIBLE A INICIACIÓN.

Se emplea en la sensibilización de dinamitas, siendo además un importante componente energético.



Alfred Nobel.
Imagen de Dominio Público.

FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

NITROGLICOL (NGc), $C_2H_4N_2O_6$

Semejante a la NG; sustituyéndola en múltiples usos.

PENTRITA (PETN), $C_5H_8N_4O_{12}$

Tetranitrato de pentaeritriol. Sustancia blanca que funde a 141°C. Poco estable al calor. No higroscópica. Densidad aparente 1,1 gr/cm³ (en cristal 1,7). Se descompone por calentamiento a 220°C.

PROPIEDADES:

CALOR DE EXPLOSIÓN: 1400 Kcal/kg.

VOLUMEN DE GASES: 790 l/kg.

ENSANCHAMIENTO TRAUZL: 500 cm³.

ÍNDICE DE TRAUZL: 150.

VELOCIDAD DE DETONACIÓN (según intensidad): 6000 a 7000 m/s.

USOS DE LA PENTRITA:

DETONADORES (carga base, iniciada por la carga primaria).

CORDONES DETONANTES (en el alma, en cantidad dependiente del gramaje).

MULTIPLICADORES: mezclada con TNT, composición llamada pentolita. En ocasiones sola, prensada y flegmatizada.

MEDICINA: acción vasodilatadora.

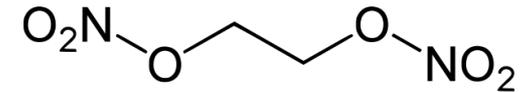


Imagen de Dominio Público.

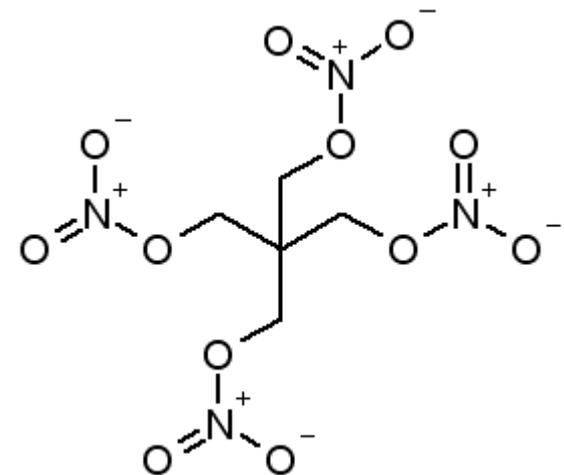
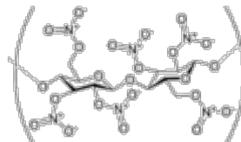


Imagen de Dominio Público.

FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

NITROCELULOSA



Conocido como “algodón pólvora”. Inicialmente era un producto muy inestable, obtenido a partir de la nitración del algodón.

Durante un experimento en la cocina de su casa, Schönbein destiló una mezcla de ácido sulfúrico y ácido nítrico, que se derramó sobre una mesa. Lo secó con un delantal de algodón y lo puso a secar sobre la estufa. El delantal se inflamó muy rápidamente, pues la celulosa del algodón se había convertido en nitrocelulosa. Reconocidas las propiedades del compuesto, la propuso como un tipo de “pólvora con menos humo”, pero la fabricación para el ejército no fue viable por su tendencia a explotar.

En 1869, Dewar y Abel lograron purificarla, eliminando las sustancias inestables. De esta manera, el “algodón pólvora” comenzó a utilizarse en la carga de proyectiles, para posteriormente ser substituido por ácido pícrico.

Mendeleiev disolvió la Nitrocelulosa de alto contenido en Nitrógeno en una mezcla de alcohol y éter, obteniendo pólvoras sin humo empleadas hoy con pequeñas variantes.

La mezcla fabricada por Nobel (NG + NC), se ha perfeccionado hasta alcanzar las gomitas actuales.



CHRISTIAN SCHÖNBEIN
(1799-1868)



FREDERICK A. ABEL
(1826-1902)



JAMES DEWAR
(1842-1923)



DMITRI MEDELÈYEV
(1834-1907)

FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

2.- ÉSTERES NÍTRICOS

NITROCELULOSA

El proceso de obtención (nitración de celulosa), permite diversos grados de nitración. En la práctica el Nitrógeno nunca supera el 13,5%, y en ningún caso el proceso destruye la estructura fibrosa de la celulosa.

Es un explosivo muy potente en estado seco, para una densidad de 1,25 detona a 7000 m/s (si se inicia adecuadamente y en confinación). La llama la consume con rapidez en caso de no existir confinamiento.

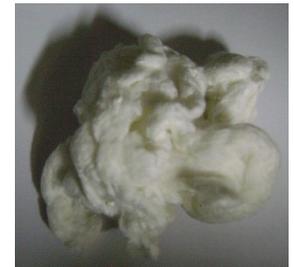
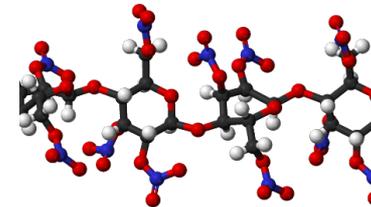
El calor de explosión depende del porcentaje de Nitrógeno, en base a la forma $Q = 145 N (\%) - 850 \text{ kcal/kg}$.

El volumen de gases generado es de unos de 900 Kg/l, aumentando con el % de Nitrógeno.

Muy sensible al impacto (35), y muy insensible a la fricción (360 N). El ensanchamiento de Trauzl es de unos 400 cm³.

Para la fabricación de nitrocelulosa para dinamitas se emplea algodón de fibra larga (de alfalfa, madera, desechos de algodón textil...).

APLICACIONES DE LA NITROCELULOSA EN BASE AL %N	
PÓLVORAS DE BASE SIMPLE	(> 13,0)
PÓLVORAS DE BASE DOBLE	(12,3 a 12,8)
BARNICES, PAPEL Y CARTÓN	(11,9 a 12,3)
DINAMITAS	(11,8 a 12,3)
RECUBRIMIENTOS ALIMENTARIOS	(11,3 a 11,7)
FABRICACIÓN DE TINTAS	(10,6 a 11,3)

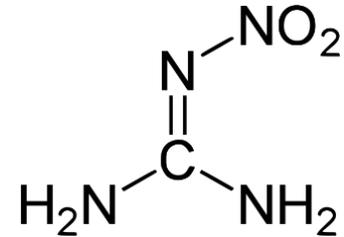


FABRICACIÓN: TIPOS DE SUSTANCIAS EXPLOSIVAS

3.- NITRAMINAS

NITROGUANIDINA

Para **pólvoras de triple base***.

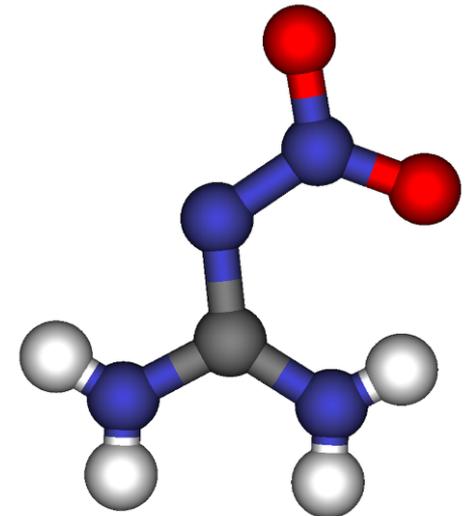


*TIPOS DE PÓLVORAS

Las **monobásicas** (nitrocelulosa disuelta en éter)

De **doble base** (nitrocelulosa disuelta en nitroglicerina)

De **triple base** (nitrocelulosa disuelta en nitroglicerina con agregado de nitroguanidina).



Nitroguanidina. Imágenes de Dominio Público.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

NITRACIÓN

Desde una óptica química, es posible distinguir entre tres modalidades fundamentales de nitración.

C-Nitración.

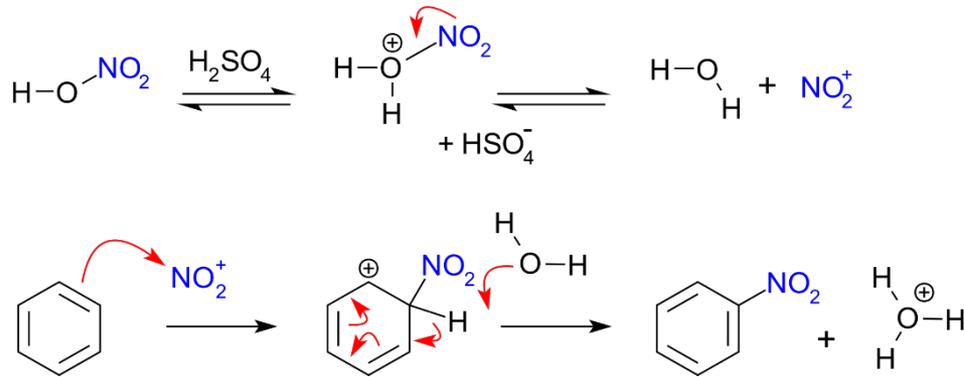
O-Nitración.

N-Nitración.

C-NITRACIÓN

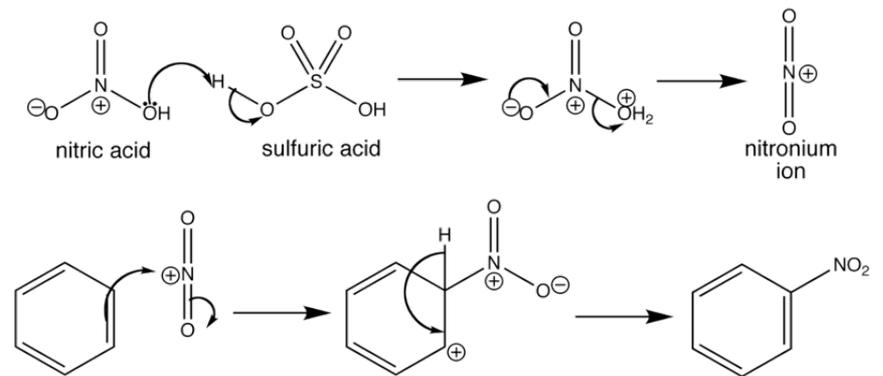
La C-Nitración consiste en la formación de un compuesto nitrado con el grupo nitro enlazado a un carbono (-C-NO₂). Los aromáticos nitrados, como por ejemplo la trilita, se obtienen por esta vía. En general, la trilita puede producirse bien mediante un sistema continuo o un proceso por lotes. El proceso químico será el mismo, con independencia de su continuidad, y puede dividirse en tres etapas fundamentales. Citando como ejemplo el proceso productivo aplicado por la empresa serbia PVRA ISKA NAMENSKA, éste se basa en la nitración directa de tolueno con ácido nítrico en presencia de ácido sulfúrico. Para ello se bombean tolueno, ácidos y sulfitos, teniendo lugar la nitración en una línea compuesta por ocho reactores. El proceso avanza a contracorriente, en los dos primeros reactores el tolueno es nitrado de forma gradual. El ácido nítrico se agrega en algunos reactores, mientras que el óleum sulfuroso se alimenta en el último. La fase ácida fluye de esta manera del reactor octavo al primero y, debido a la formación de agua de reacción, se diluye de tal manera que en el primer reactor se libera el ácido gastado con determinados contenidos de ácido nítrico. Seguidamente el ácido crudo con TNT se purifica en cinco lavadores a contracorriente, para posteriormente secar el TNT purificado en emulsión con agua, en un segundo edificio. Finalmente el TNT obtenidos en la unidad de secado se conducen al tambor de cristalizado, en el que se forman los copos.

FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN



Proceso de nitración.

Fuente: V8rik at English Wikipedia, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7890643>.



Nitración del benceno.

Fuente: Andres Sanchez [CC BY-SA 3.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>)].

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

NITRACIÓN

Fuentes: Meyer, R., Köhler, J. y Homburg, A. (2002) Explosives, Fifth Edition. Wiley. Mörlenbach. 474 Pp.
Cooper, P.W. (1996). Explosives Engineering. Wiley-VCH. New York. 460 Pp.
Shu, R. (2012). Explosive Chemistry, The History and Chemistry of Explosives. DUJS. Vol XIV, no. 3. Pp. 21-23.
Ministerio de Medio Ambiente, (2006) Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Química Fina Orgánica. Serie Monográficas. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Madrid . 191 Pp.

La N-Nitración obtiene como resultado las denominadas nitraminas, en las que el grupo nitro se enlaza a un átomo de nitrógeno de amina o amida, (-C-N-NO₂). La mayoría de los explosivos militares modernos, tales como el hexógeno (RDX), octógeno (HMX), etc., proceden de este tipo de nitración.

O-NITRACIÓN

Presenta como productos resultantes ésteres nítricos, en los que el grupo nitro se enlaza a un átomo de oxígeno (-C-O-NO₂). Entre los explosivos más conocidos, utilizados en la generación de explosivos industriales, están la nitroglicerina, la nitrocelulosa o el nitroglicol.

La O-Nitración constituye la más común y simple de los métodos de nitración en la producción de ésteres nítricos, que consiste en hacer reaccionar alcoholes con ácido nítrico en presencia de ácido sulfúrico.

Las mezclas de ácido (normalmente conocidas como mezclas nitrantes, ácidos nitrantes o mezclas de ácidos) que contienen ácido nítrico y un ácido fuerte se usan como materia prima nitrante para la O-Nitración. El ácido fuerte actúa como catalizador, formando el ión nitroso NO₂⁺, y actuando como agente deshidratante del medio de reacción.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

NITRACIÓN

O-NITRACIÓN

El ácido sulfúrico es casi siempre el ácido fuerte empleado industrialmente por su efectividad y su coste relativamente económico. La operación de mezcla de los ácidos se desarrolla en recipientes equipados con camisas refrigerantes y agitación para atenuar la elevada entalpía de la mezcla. La reacción es reversible a través de la hidrólisis propia de las reacciones de esterificación.



El ácido sulfúrico promueve la hidrólisis del éster, si bien el rendimiento de la hidrólisis no es significativo respecto a la esterificación. Además de estas reacciones, acontecen también otras de oxidación durante el proceso de nitración/esterificación, que no resultan significativas si la nitración de productos orgánicos, tales como el glicerol o la celulosa, se lleva a cabo a baja temperatura, entre 0° y 20°C, con la mezcla de ácidos.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

NITRACIÓN

PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE O-NITRACIÓN

ASPECTOS RELATIVOS A LA TEMPERATURA: las nitraciones, y particularmente la O-Nitración, son extremadamente exotérmicas, variando el calor de la reacción en base al compuesto orgánico que se nitrifica. La mayoría se llevan a cabo a bajas temperaturas, entre 0° y 20°C, lo que conlleva que el sistema de refrigeración constituya un elemento clave en las plantas de nitración. Los reactores de nitración se proveen siempre de camisas refrigerantes y/o serpentines para optimizar el área de intercambio de calor. La temperatura de nitración influye de forma considerable en la seguridad del proceso de nitración: temperaturas elevadas provocan un desarrollo violento de la reacción, incrementándose el riesgo de explosión del producto nitrado conforme éstas aumenten. Otro aspecto negativo asociado a una elevada temperatura de proceso es la rapidez en la formación de subproductos, especialmente los relacionados con la reacción de oxidación, que conllevan la obtención de dióxido de nitrógeno, con el consecuente incremento en las emisiones de gases ácidos. Es por ello que la temperatura ha de mantenerse lo más baja posible, especialmente en las fases iniciales de la reacción. El límite de seguridad de la temperatura depende de la estructura química del compuesto a nitrificar.

Fuentes: Meyer, R., Köhler, J. y Homburg, A. (2002) Explosives, Fifth Edition. Wiley. Mörlenbach. 474 Pp.
Cooper, P.W. (1996). Explosives Engineering. Wiley-VCH. New York. 460 Pp.
Shu, R. (2012). Explosive Chemistry, The History and Chemistry of Explosives. DUJS. Vol XIV, no. 3. Pp. 21-23.
Ministerio de Medio Ambiente, (2006) Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Química Fina Orgánica. Serie Monográficas. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Madrid . 191 Pp.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

NITRACIÓN

Fuentes: Meyer, R., Köhler, J. y Homburg, A. (2002) Explosives, Fifth Edition. Wiley. Mörlenbach. 474 Pp.
Cooper, P.W. (1996). Explosives Engineering. Wiley-VCH. New York. 460 Pp.
Shu, R. (2012). Explosive Chemistry, The History and Chemistry of Explosives. DUJS. Vol XIV, no. 3. Pp. 21-23.
Ministerio de Medio Ambiente, (2006) Guía de Mejores Técnicas Disponibles en España del Sector de Química Fina Orgánica. Serie Monográficas. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica. Madrid . 191 Pp.

PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE O-NITRACIÓN

SEPARACIÓN POR FASES: los procesos de nitración se caracterizan por la existencia de dos fases: una orgánica, que podrá ser líquida o sólida, y una ácida, con los agentes nitrantes no reaccionados. Es necesario contar con una gran área de interfase entre ambas, con el fin de facilitar la transferencia de reactivos a ella, y la migración de productos a la fase orgánica.

Con el fin de facilitar la consecución de dichas áreas interfaciales, se emplean reactores de fuerte agitación. Los modelos más recientes emplean inyectoras de bajo volumen, que generan una intensa agitación, sin la necesidad o participación de elementos móviles.

Una vez la reacción se completa, el contenido del reactor de nitración se transfiere a un separador. Para lograr una rápida separación de la fase ácida “gastada” se emplean separadores centrífugos. Una determinada proporción del ácido gastado se recicla, mientras que la parte restante se destila en un proceso particular, la denitración.

La separación rápida reduce de forma significativa la cantidad de materiales nitrados presentes en todo momento en la planta, permitiendo además que la separación rápida y la refrigeración permiten que la fase que contiene el producto se procese para extraer el ácido nítrico disuelto, los vapores nitrosos NO_x, etc. Estas materias disueltas son susceptibles de promover reacciones paralelas que inestabilicen el producto explosivo.

Por todo lo expuesto anteriormente, los decantadores o separadores por gravedad se han sustituido por separadores centrífugos en la práctica totalidad de las plantas de nitración para la fabricación de explosivos.

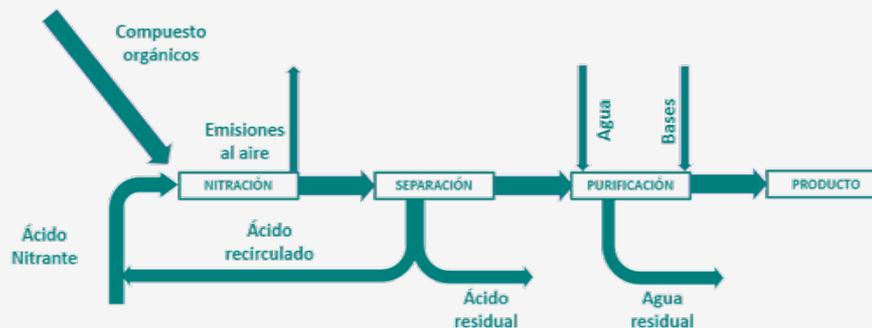
PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

NITRACIÓN

Fuentes: Meyer, R., Köhler, J. y Homburg, A. (2002) Explosives, Fifth Edition. Wiley. Mörlenbach. 474 Pp.
Cooper, P.W. (1996). Explosives Engineering. Wiley-VCH. New York. 460 Pp.
Shu, R. (2012). Explosive Chemistry, The History and Chemistry of Explosives. DUJS. Vol XIV, no. 3. Pp. 21-23.

PLANTEAMIENTO GENERAL DEL PROCESO DE O-NITRACIÓN

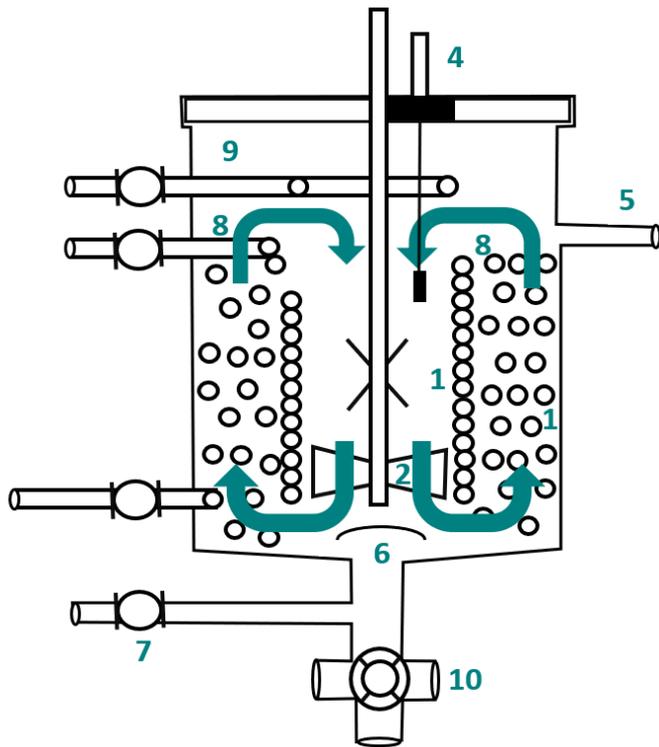
PURIFICACIÓN: en los procesos de C-Nitración de compuestos aromáticos es posible detectar múltiples subproductos, mientras que en el caso de las O-Nitraciones, tales como las asociadas a la generación de nitroglicol y nitrocelulosa, las reacciones presentan rendimientos muy elevados, sin apenas generar subproductos. En cualquier caso, la fase que contiene el producto ha de ser lavada de forma intensa con agua y soluciones alcalinas, con el fin de eliminar los ácidos y obtener el producto puro en la forma física requerida, tal como se muestra en el siguiente diagrama.



Se define la estabilidad de un explosivo como la capacidad de permanecer inalterado durante un periodo de almacenamiento largo. En el caso de los ésteres nítricos, es un aspecto de vital importancia, ya que dada su estructura, existe el riesgo de hidrólisis. La pureza del producto nitrado obtenido reduce de forma significativa dicho riesgo, por lo que resulta de gran importancia mantener el producto libre de impurezas, tales como residuos de ácidos nitrantes, que puedan causar su descomposición. Es por ello que los procesos de nitración suelen acompañarse de varias etapas de lavado con soluciones básicas fuertes o agua fresca, con el fin de purificar al máximo los nitrocompuestos. La mayoría de los líquidos nitrados se lavan con agua, para seguidamente emplear una solución de carbonato de sodio de la que el producto final se separe como fase orgánica.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



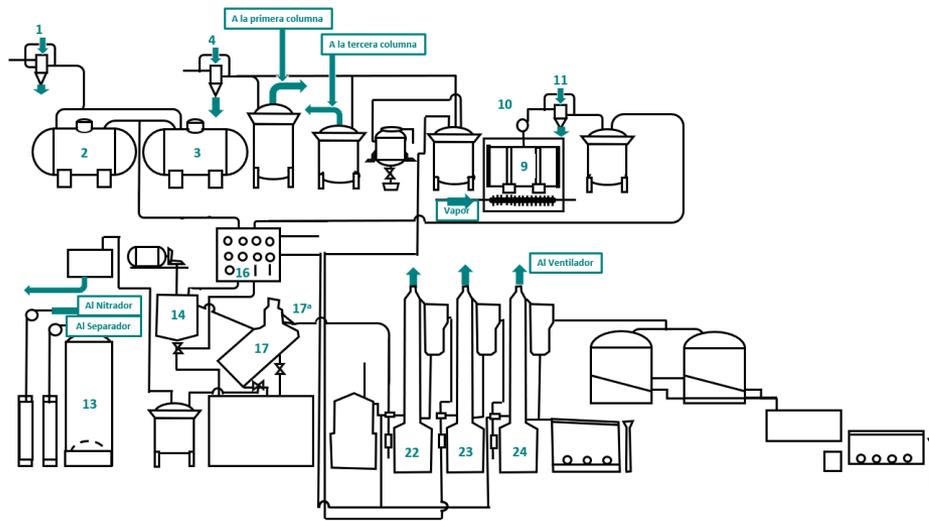
Nitrador continuo de Schmid.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

Nitrador continuo de Schmid

Éste método implica tanto nitración continua como separación continua y lavado del producto. Schmid introdujo el nitrador de acero inoxidable, con mecanismo de remoción, dotado además de anillos de refrigeración (en la figura anterior, representados por 1). La superficie de enfriamiento es cuatro veces superior a la de otros nitradores usuales, por lo que la refrigeración es eficaz aún a pesar de la rápida tasa de flujo del líquido. Los propulsores del removeedor giran a una velocidad de entre 200 y 300 revoluciones por minuto, extendiéndose hasta entre 0,5 y 1,00 cm de distancia con respecto a los anillos refrigerantes. Antes de que la nitración de comienzo, la unidad se llena con ácido gastado hasta el nivel de rebose (5). El agua de alimentación a los anillos refrigerantes está abierto, el sistema de remoción se arranca, y a través de las tuberías 6 y 7 accede mezcla ácida fresca. La mezcla acontece sin ningún tipo de efecto termal. Parte del líquido se recircula a través de la tubería 8, y parte corre por el rebose (5) al separador. La glicerina entra a través de la tubería 9.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



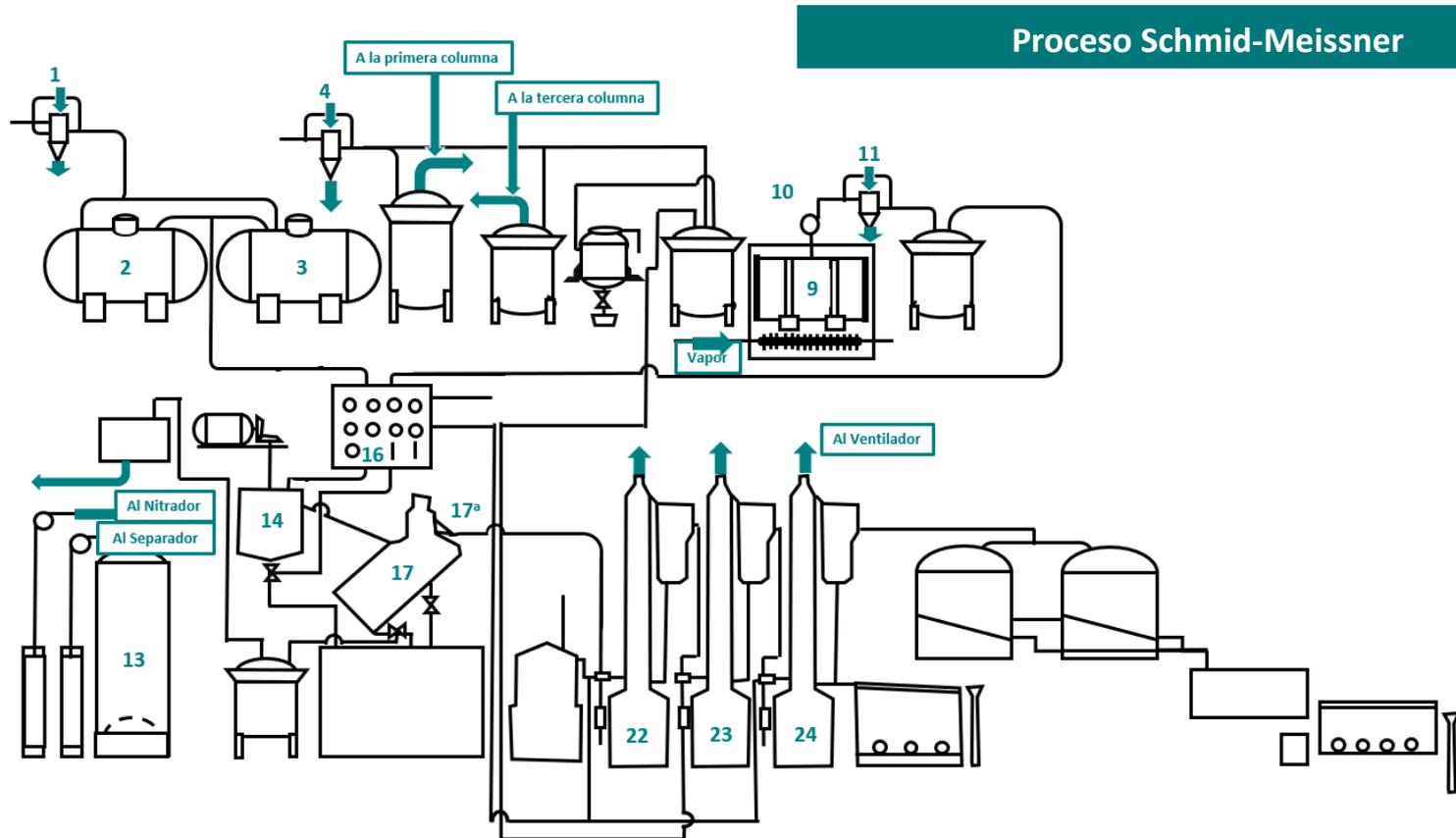
Proceso Schmid-Meissner.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

Proceso Schmid-Meissner

Siguiendo el esquema de la figura siguiente, el ácido nítrico es transferido tras atravesar un filtro cerámico (1) por aire comprimido de los tanques (2) y (3) por encima de un rotámetro al nitrador (14). La glicerina calentada en (9) es transportada por bombeo (10) a través de un filtro de malla de bronce (11) en el tanque de medición (12), desde el que se descarga mediante un control de presión (16). Para permitir el empleo de un rotámetro para la medida de la glicerina a temperatura, el tanque de alimentación de la glicerina se mantiene una temperatura de 40°C, de tal manera que no haya variaciones en la viscosidad. Del tanque de aire comprimido (13), se aplica una presión de aire de unas 1,5 atmósferas tanto a la glicerina como a la mezcla ácida contenida en los tanques de medida. De esta manera, tanto la glicerina como el ácido están a la misma presión. La nitroglicerina se descarga en el separador (17) a través del rebose (17^a), y pasa a través de los inyectores hasta las columnas de lavado (22), (23) y (24).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



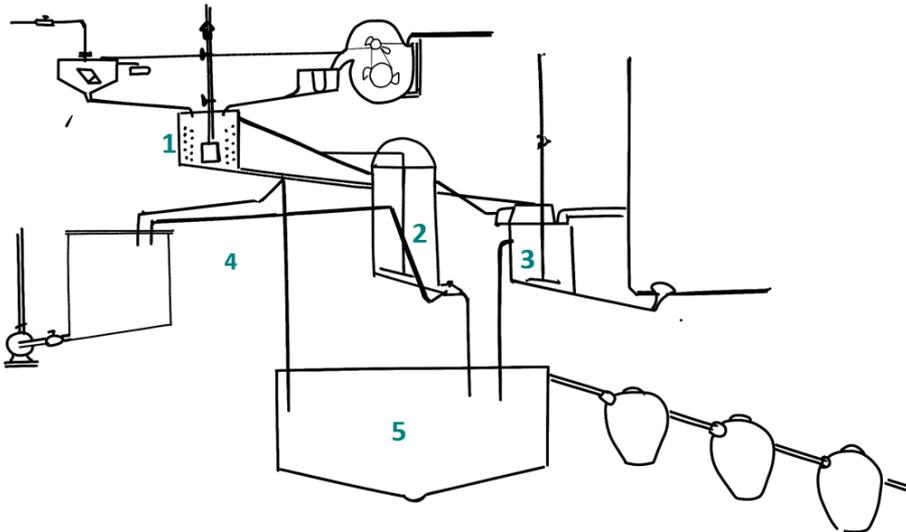
Proceso Schmid-Meissner.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.

Proceso Raczýnski

En este caso se emplea un nitrador (1) dotado de espirales de refrigeración y un mezclador mecánico que comprende un rotor cilíndrico equipado internamente con aspas de turbina. Con una velocidad de rotación suficiente, el líquido gira rápidamente a través del rotor en una dirección, asegurando de esta manera la correcta circulación entre los anillos refrigerantes. La emulsión de nitroglicerina y ácido fluye a un separador cilíndrico (2) desde donde la capa superior de nitroglicerina fluye por encima del nivel superior de la tubería, al tanque primario de lavado (3). El ácido gastando se retira desde abajo mediante un sistema hidráulico.

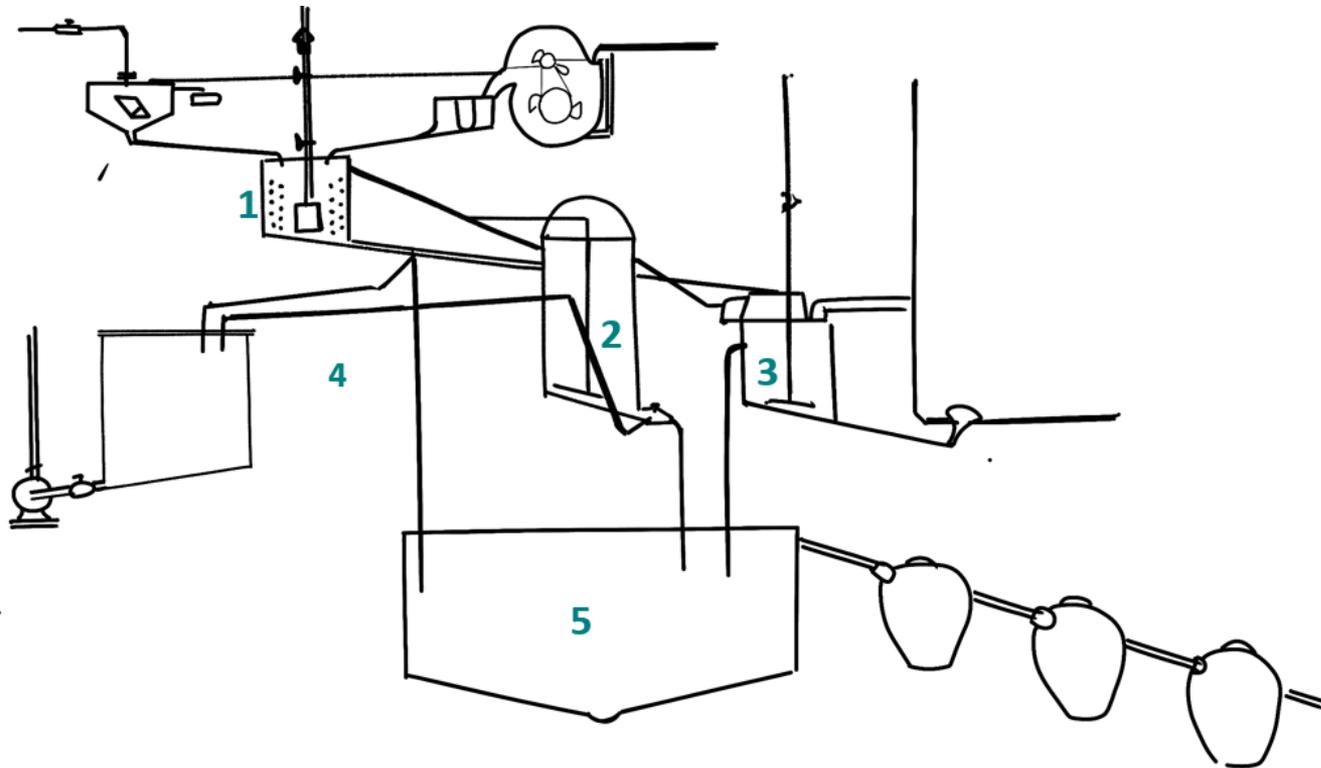


Proceso de nitración continua según Raczýnski.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.

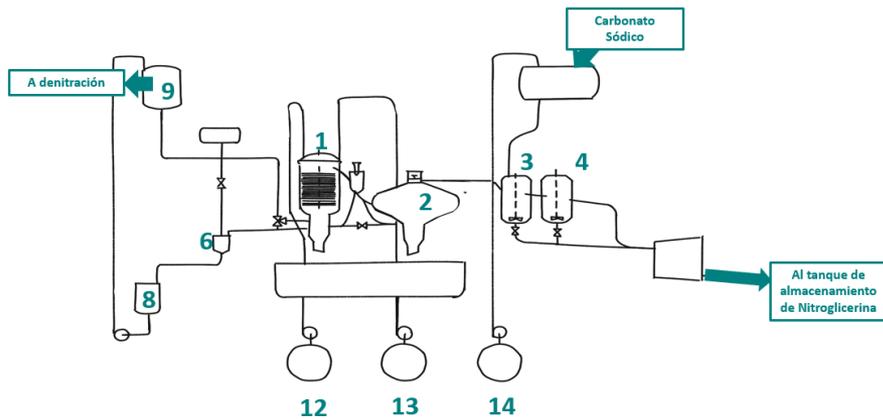
Proceso Raczýnski



*Proceso de nitración continua según Raczýnski.
(Adaptado de Urbanski, 1965).*

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



Esquema de flujo del Proceso Biazi.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

Proceso Biazi

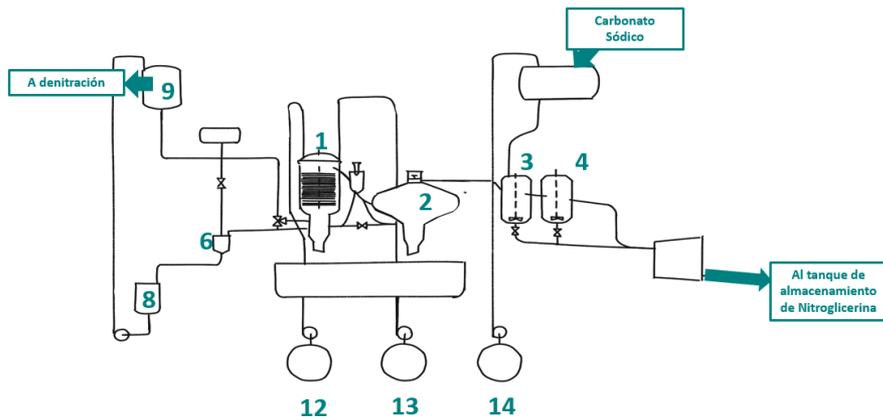
El proceso Biazi (Vevey, Suiza) se aplica desde 1935. Incorporó en su esquema un nitrador de alta resistencia al ataque ácido, y separadores tangenciales en cuyo seno el líquido se encuentra en continuamente en movimiento. Una de las primeras plantas en las que se implantó, ubicada en Schlebusch (Alemania), contaba con un nitrador de 250 litros de capacidad, para una producción horaria comprendida entre los 800 y los 1000 kg de nitroglicerina. La glicerina y el glicol se bombean a un tanque intermedio (13). Una bomba de medición introduce la cantidad requerida de glicerina al nitrador. La mezcla ácida (12), que es conducida a las instalaciones de nitración mediante una bomba centrífuga, se alimenta en el nitrador mediante una bomba de medición. El flujo de los dos líquidos reactivos se mantiene en la proporción adecuada mediante medidores de velocidad.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.

Proceso Biazzi

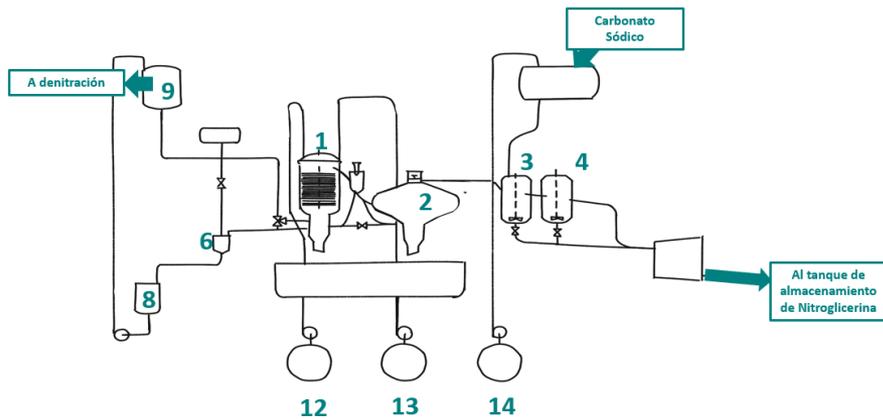
Un agitador de alta velocidad (unas 600 r.p.m.) emulsiona el contenido del nitrador (1). La temperatura en el nitrador se mantiene entre los 10° y los 15°C mediante el empleo de anillos enfriadores alimentados con agua fría u otros refrigerantes. La temperatura se mantiene constante mediante una válvula de control termostático. La suspensión de nitroglicerina en ácido fluye del nitrador al separador de acero resistente al ácido (2). La entrada al separador se sitúa unos 0,6 metros por debajo de la salida del nitrador. El separador es un recipiente cilíndrico de poca profundidad y gran diámetro, siendo este aproximadamente el doble del propio del nitrador. La parte superior es cónica, y presenta una chimenea cilíndrica. La corriente de emulsión ingresa para encontrarse con la emulsión ya presente en el separador. Por encima de la emulsión hay una capa de nitroglicerina, y por debajo de ella, una capa de ácido. Debido a la dirección tangencial del flujo, la emulsión circula lentamente con respecto a las dos capas estacionarias ya separadas. Dado que el diámetro del separador es grande, su movimiento rotatorio se caracteriza por una gran longitud (con una velocidad lineal periférica que puede estar entre los 2 y los 3 cm/segundo), y de esta manera favorece la aglomeración de pequeñas gotas en ambas fases líquidas.



Esquema de flujo del Proceso Biazzi.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



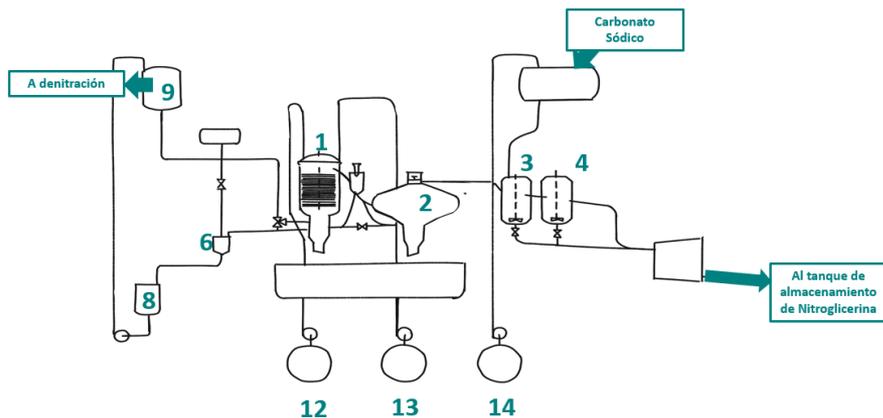
Esquema de flujo del Proceso Biazzi.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

Proceso Biazzi

De acuerdo con los datos recogidos en la patente original de Biazzi, mediante la aplicación de este sistema la separación tiene lugar en no más de 10 minutos. La temperatura del separador viene determinada por termómetros emplazados a dos niveles: el superior en la capa de nitroglicerina separada, y el inferior en la capa de ácido. El separador está equipado con ventanas de observación, a través de las cuales pueden observarse las líneas límite entre las fases líquidas. El ácido gastado abandona el separador desde la zona inferior, para fluir a través de un sifón cuya altura puede ser controlada de forma automática, siendo conducido a un diluidor (6), en el que entre un 1% y un 2% del agua se añade, y seguidamente a un mezclador de ácido gastado (8). El ácido diluido gastado se bombea a un tanque (9), y se emplea para la retirada de nitroglicerina del nitrador y del separador una vez se ha terminado. La mayor parte del ácido diluido se envía a denitración.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



Esquema de flujo del Proceso Biazzí.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

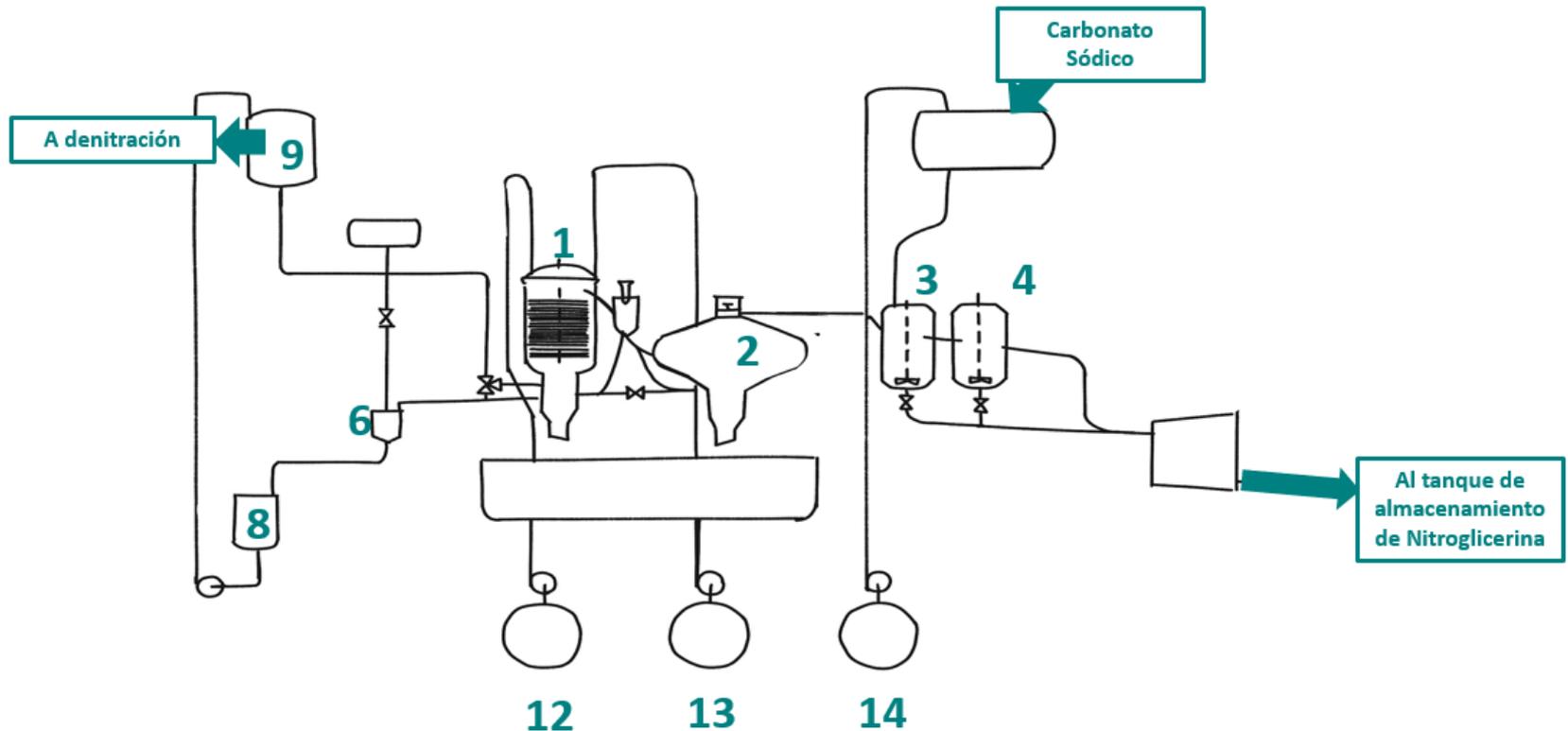
Proceso Biazzí

El tanque (3) se alimenta con la solución de carbonato sódico mediante una válvula automática que cuenta con un pHmetro. Cabe citar el dato relativo al requerimiento de carbonato sódico anhidro: 7 kg para la neutralización de 100 kg de nitroglicerina, contando cada uno de los tanques de lavado con una capacidad de 160 kg de emulsión. Una muestra de la nitroglicerina lavada se somete a un test de calor. Tras retirar el carbonato sódico hasta un máximo del 0,04%, la nitroglicerina debería dar un resultado positivo durante 20 minutos a 80°C. Tras la estabilización en los tanques de almacenamiento, la emulsión fluye a otro separador en el que la nitroglicerina se retira y es enviada a almacenaje hasta que se utilice. Modelos relativamente más modernos de instalaciones basadas en el proceso Biazzí carecen del separador final. La nitroglicerina estabilizada se emulsiona con agua caliente y fluye a un tanque de almacenamiento.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

PROCESOS DE FABRICACIÓN

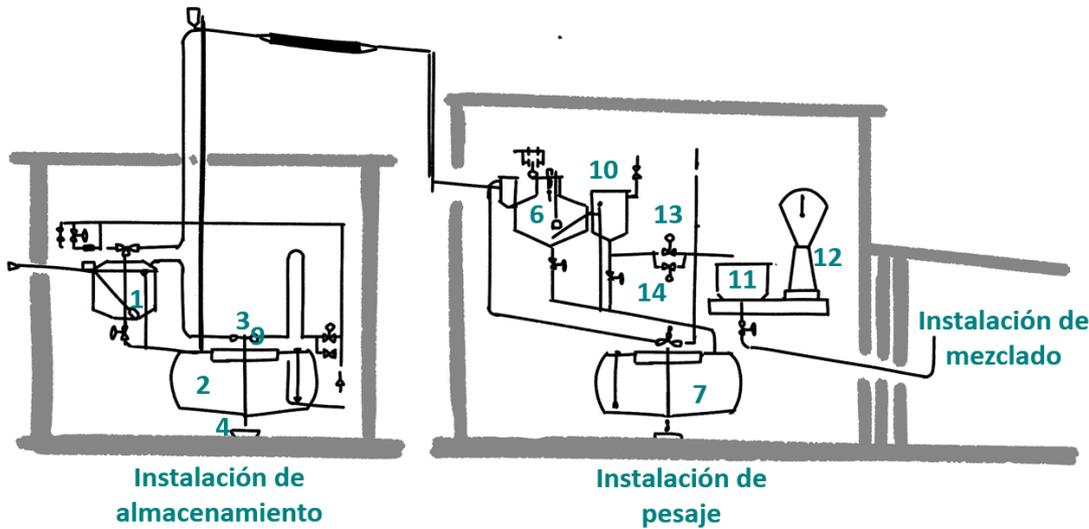
Proceso Biazzi



Esquema de flujo del Proceso Biazzi.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



Esquema de flujo del Proceso Biazzí, continuación.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

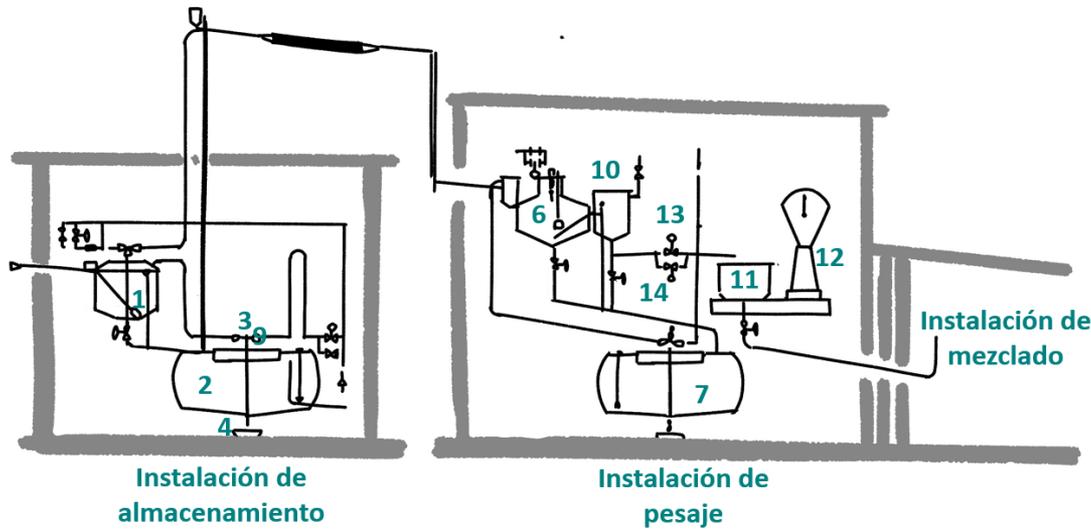
Proceso Biazzí

Resulta igualmente conveniente analizar el flujo de los procesos controlados de forma remota para el almacenamiento de la nitroglicerina, el transporte y el pesado. La nitroglicerina estabilizada en forma de emulsión acuosa fluye al tanque de almacenamiento (1 en la figura siguiente), debiendo de contar con dos tanques, si cada lote de nitroglicerina generada se somete al test de calor. El agua separada de la emulsión fluye al tanque (2).

La escasa cantidad de nitroglicerina recogida en el fondo del mismo puede ser llevada de vuelta al tanque 1 a través de la bomba de agua (3), o drenada a través de la válvula (4). Si el nivel de nitroglicerina es muy elevado o muy bajo, se envía una señal a la sala de control, que de forma automática pone en movimiento una serie de inyectores (5).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



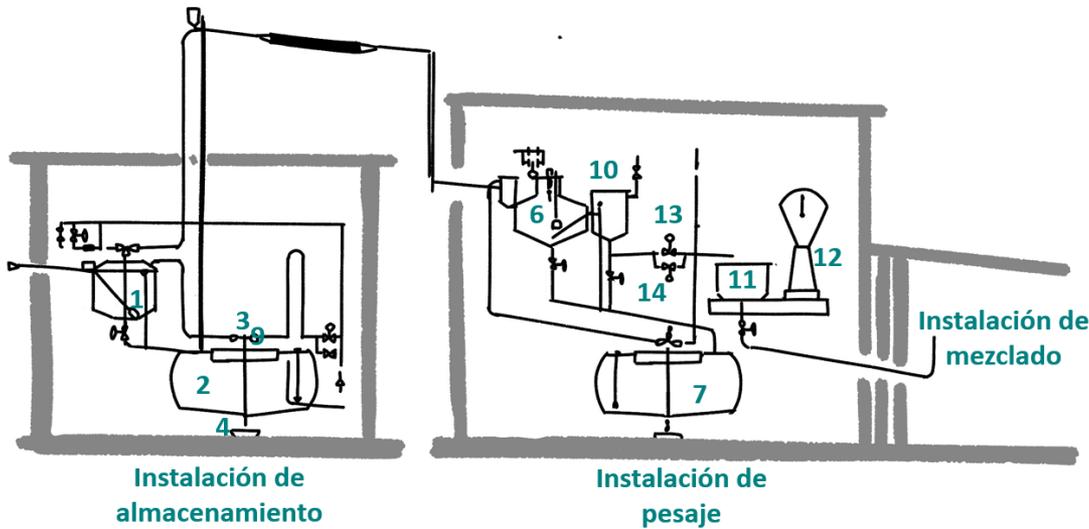
Esquema de flujo del Proceso Biazzi, continuación.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

Proceso Biazzi

Estos transportan la nitroglicerina de (1) a las instalaciones de pesado y al tanque de decantación (6), hasta que el nivel del tanque es satisfactorio. El agua separada fluye al tanque (7) y la nitroglicerina recogida en el fondo puede ser enviada de vuelta a través de la bomba de agua (8), o drenada a través de la bomba (9). La nitroglicerina, libre de agua, pasa a través de un filtro de sal (10), en el que las últimas trazas de agua son retiradas y la nitroglicerina se pesa en el tanque (11), que se monta en una báscula. El rellenado automático del tanque de pesado (11) se lleva a cabo de forma neumática a través de la válvula (12) y la válvula micrométrica (13). La válvula cierra de forma automática cuando se alcanza el peso deseado. La nitroglicerina fluye a la sala de mezclado.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.



Esquema de flujo del Proceso Biazzi, continuación.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

Proceso Biazzi

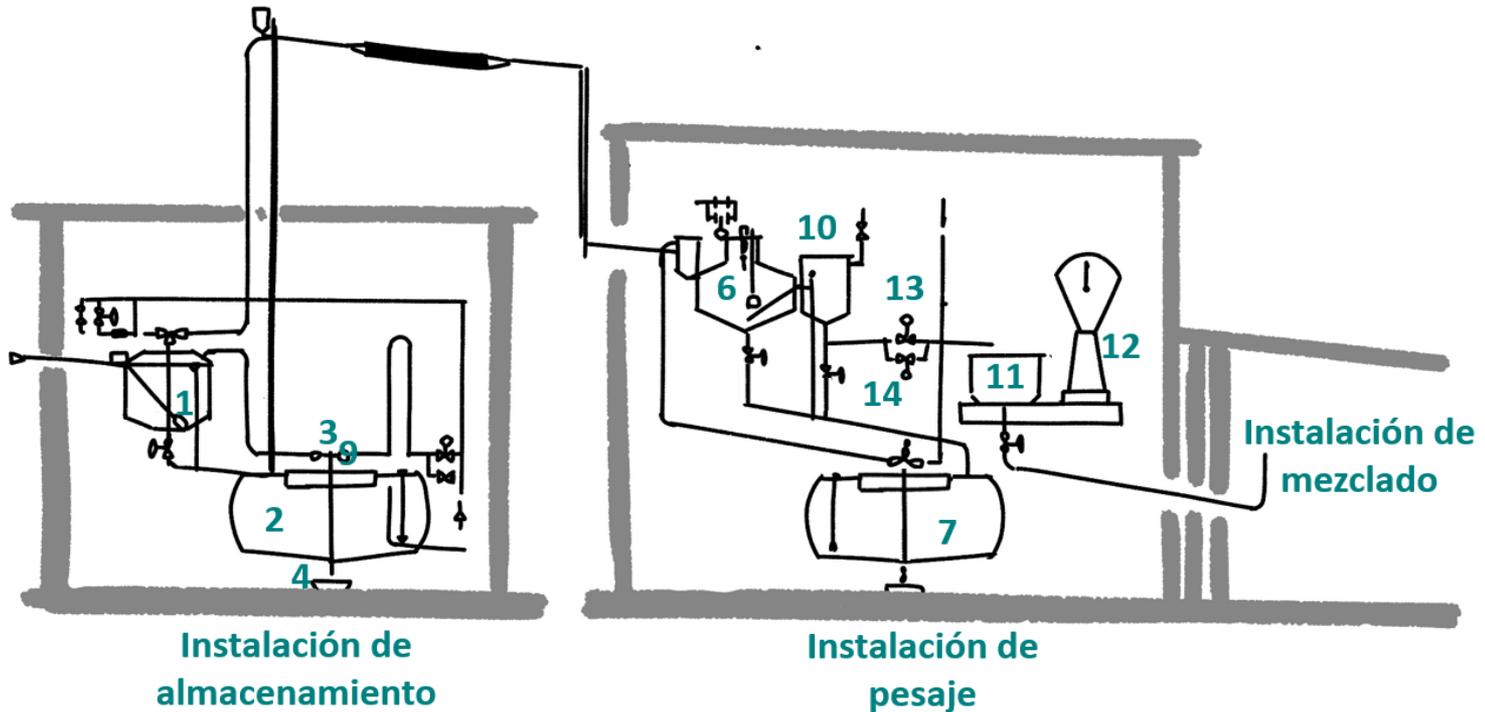
Una de las ventajas de los procesos Biazzi y Schmid-Meissner reside en la baja cantidad de explosivo separado presente en planta en cualquier momento, permaneciendo entre el 96% y el 90% respectivamente de la nitroglicerina asociada a la producción horaria bajo la forma emulsionada, más segura.

El proceso Biazzi se ha aplicado no únicamente a la nitración de glicerina, siendo posible igualmente la obtención de pentrita, ciclonita o TNT a través del mismo.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

NITRACIÓN

Proceso Biazzi

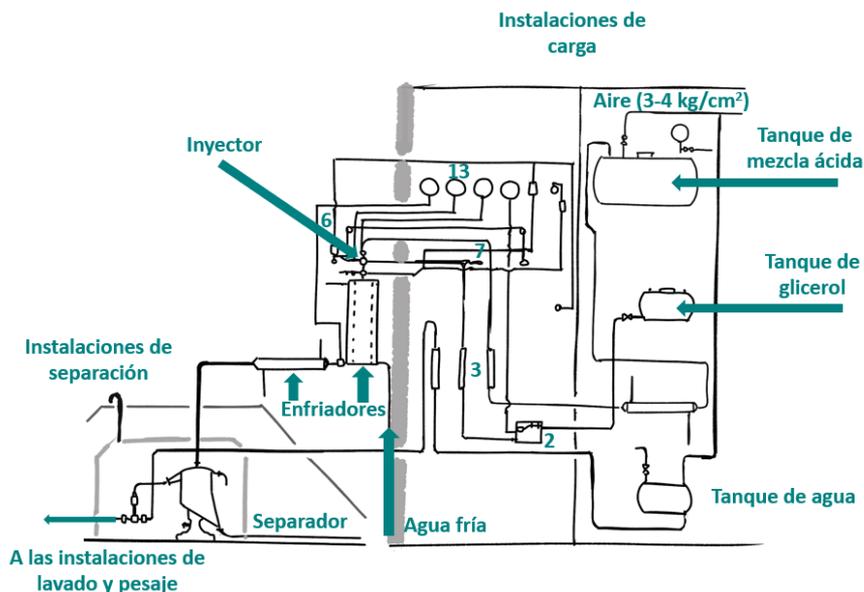


Esquema de flujo del Proceso Biazzi, continuación.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.

NITRACIÓN



Flujo de la inyección y la separación centrífuga de nitroglicerina en instalación Gyttorp.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

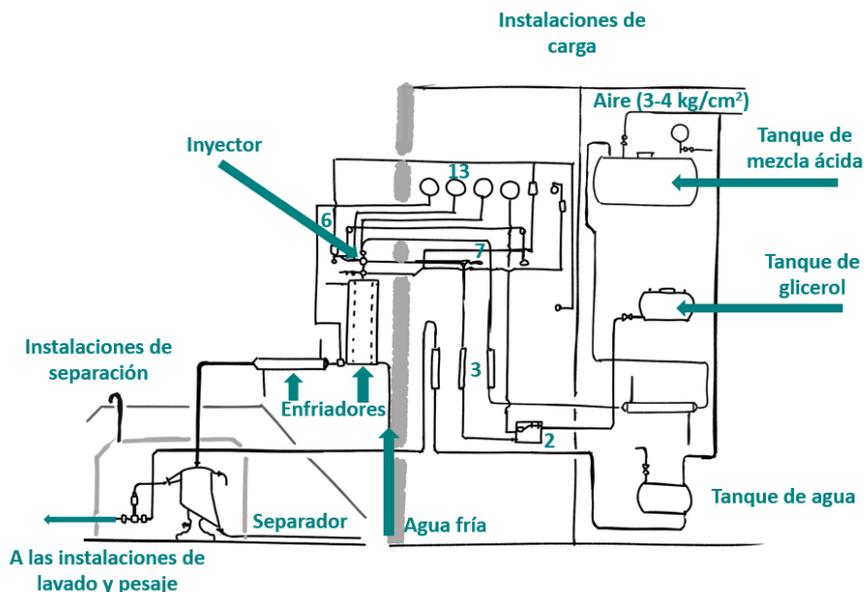
N.A.B. Injector Process (A.B.Gyttorp)

Este método de fabricación de nitroglicerina fue desarrollado por Nilssen y Brumberg en 1950 en Nitroglycerin Aktiebolaget Gyttorp (Suiza), consistiendo en esencia en la nitración de la glicerina en un inyector in la separación de la nitroglicerina en un separador centrífugo. El flujo de ácido nitrante a través de un inyector succiona la cantidad correcta de glicerina mezclada con aire. La nitroglicerina forma una emulsión con el ácido gastado. Tras ser enfriada, la emulsión fluye en un separador continuo. La nitroglicerina es separada del ácido y enviada a las instalaciones de lavado. Las principales características del proceso N.A.B., aplicado industrialmente desde 1956, son las recogidas a continuación.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.

NITRACIÓN



Flujo de la inyección y la separación centrífuga de nitroglicerina en instalación Gyttorp.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

N.A.B. Inyector Process (A.B.Gyttorp)

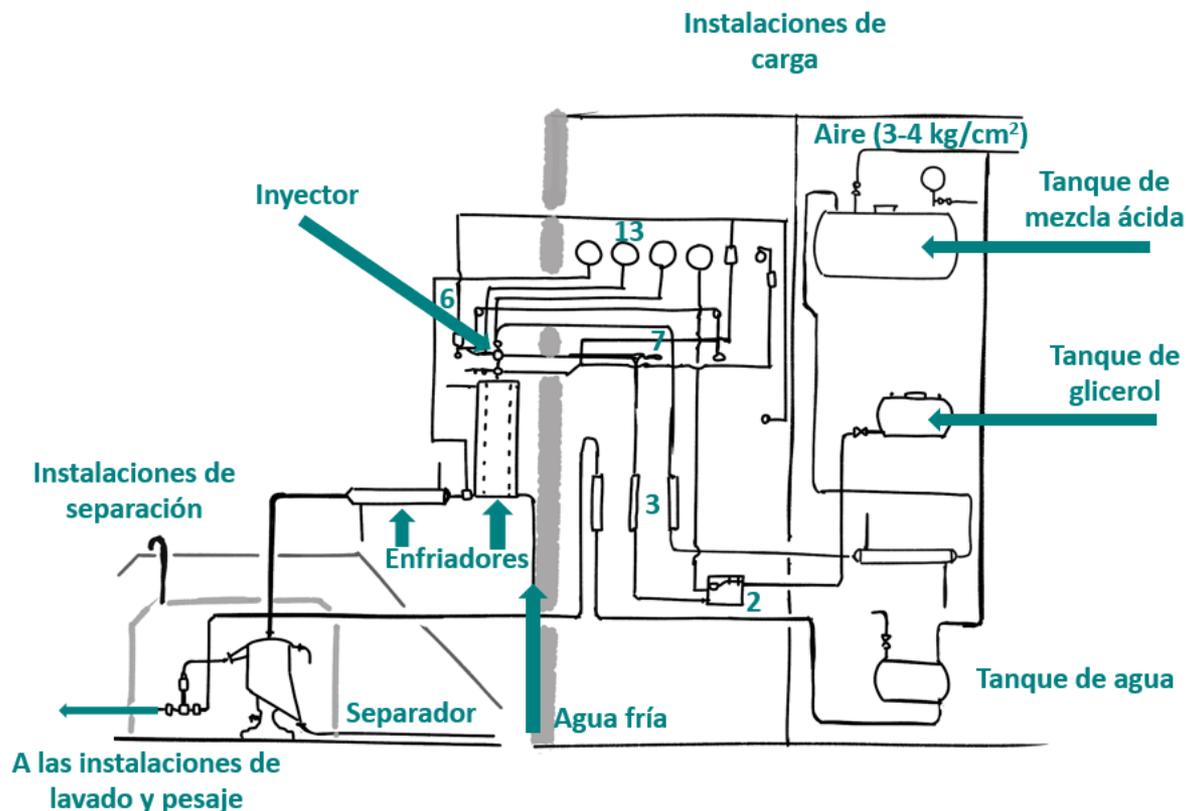
- **Ácido mezclado:** cuenta con una mezcla convencional de ácido nitrante, y el ácido gastado se añade en una cantidad tal que el contenido de HNO₃ se sitúa entre el 26,5 y el 27,5%, y el de agua entre el 9,5% y el 10%. El ratio ácido gastado-mezcla de ácido viene a ser de 1,6-1,75.
- **El flujo de glicerina** en el inyector de nitración se controla por el flujo de ácido, lo que proporciona un elevado grado de seguridad, ya que una reducción en el flujo ácido por debajo del nivel operativo usual conlleva una mayor reducción en el flujo de glicerina. La presión de ingreso del ácido al inyector se sitúa en unos 3,5 kg/cm² por encima de la presión atmosférica.
- **Temperatura:** un importante parámetro característico en la nitración por inyección es la elevada temperatura, que se sitúa entre los 45° y los 50°C. Pequeñas variaciones en el proceso normal de operación generan modificaciones singularmente pequeñas en el flujo de reactivos o en la temperatura inicial del ácido nitrante.
- **Separador:** se emplea la separación centrífuga continua de la nitroglicerina con respecto al ácido gastado, operando a 3200 rpm.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «Chemistry and Technology of Explosives, Volume II». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.

NITRACIÓN

N.A.B. Injector Process (A.B.Gyttorp)



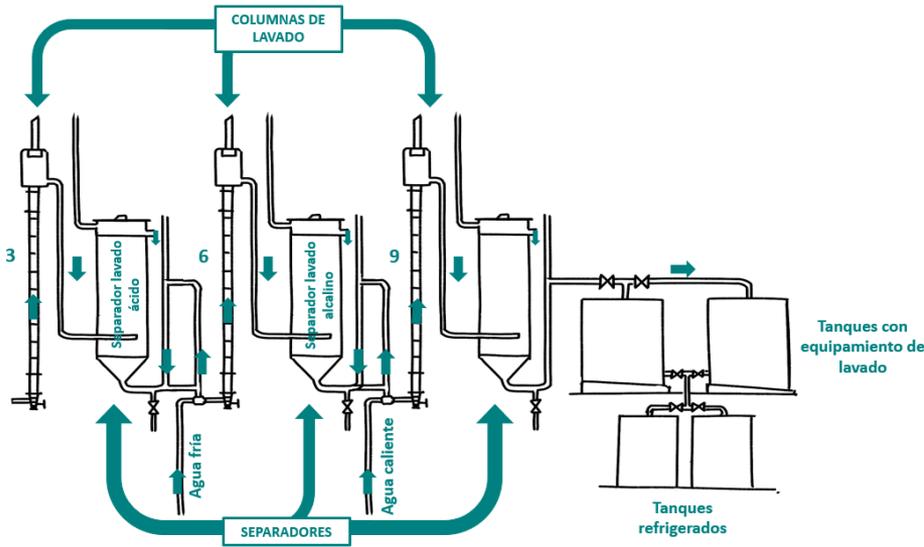
Flujo de la inyección y la separación centrífuga de nitroglicerina en instalación Gyttorp.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Urbanski, T. (1965): «*Chemistry and Technology of Explosives, Volume II*». Pergamon Press. Oxford. 517 Pp.

N.A.B. Injector Process (A.B.Gyttorp)

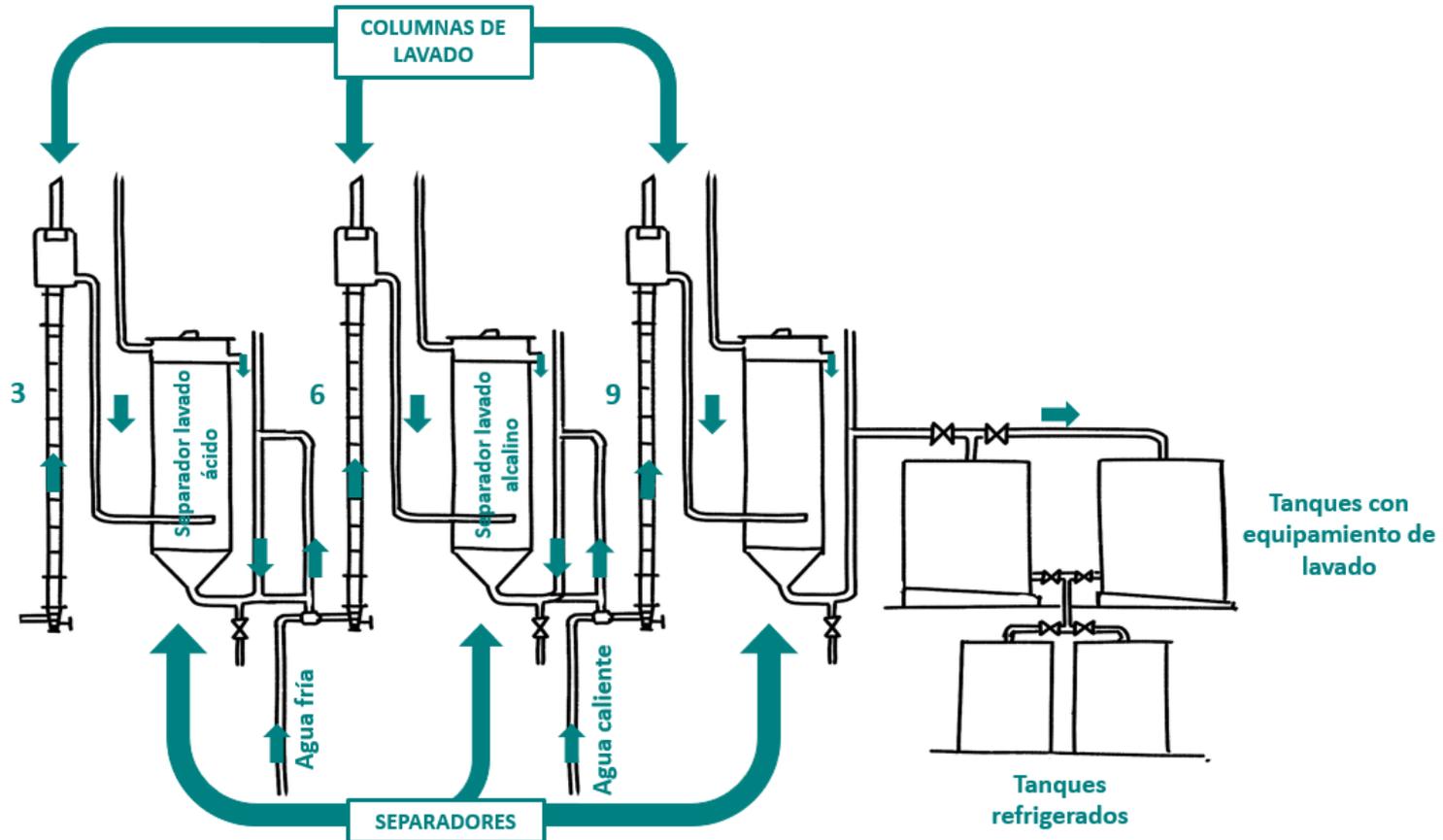
- **Nitración:** para comenzar la nitración, se aplica corriente al electroimán (6 en la figura anterior) que cierra el ingreso de aire al inyector. El ácido mezclado se admite abriendo la válvula dispuesta bajo el rotámetro. El inyector entra entonces en operación. El manómetro (13) debe mostrar vacío pleno. La válvula de aguja (7) se abre entonces, y el vacío se ajusta a 300 mm Hg. La mezcla glicerínaglicol es aspirada en el rotámetro (3) al inyector desde (2). Los contenidos del separador se recogen en un depósito especial de almacenaje. El lavado continuo de la nitroglicerina se lleva a cabo en tres columnas (3), (6) y (9 en la figura siguiente).



Purificación en instalación Gyttorp.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

PROCESOS DE FABRICACIÓN



Purificación en instalación Gyttorp.
(Adaptado de Urbanzski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

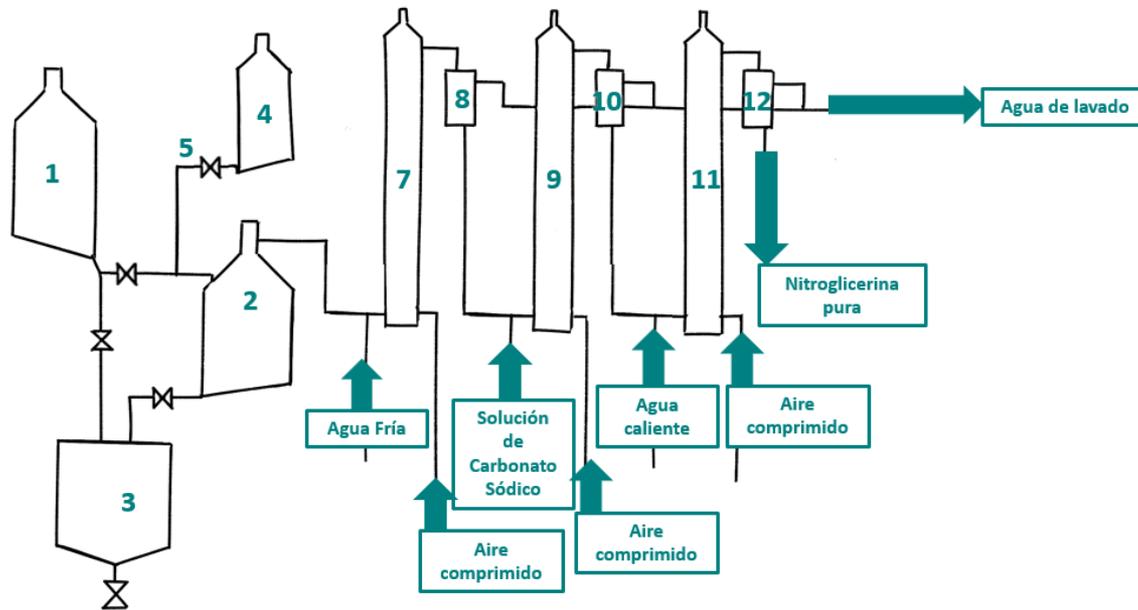


Diagrama de flujo del Método semicontinuo de Jarek.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

Diagrama del Proceso Jarek

El desarrollo de los métodos de obtención continua anteriormente recogidos, supusieron un estímulo en la mejora de los viejos procesos discontinuos, transformándolos en semicontinuos. Uno de estos métodos, de aplicación en Polonia, fue el diseñado por Jarek.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

Fuente: Urbanski (1965): «Chemistry and Technology of Explosives».

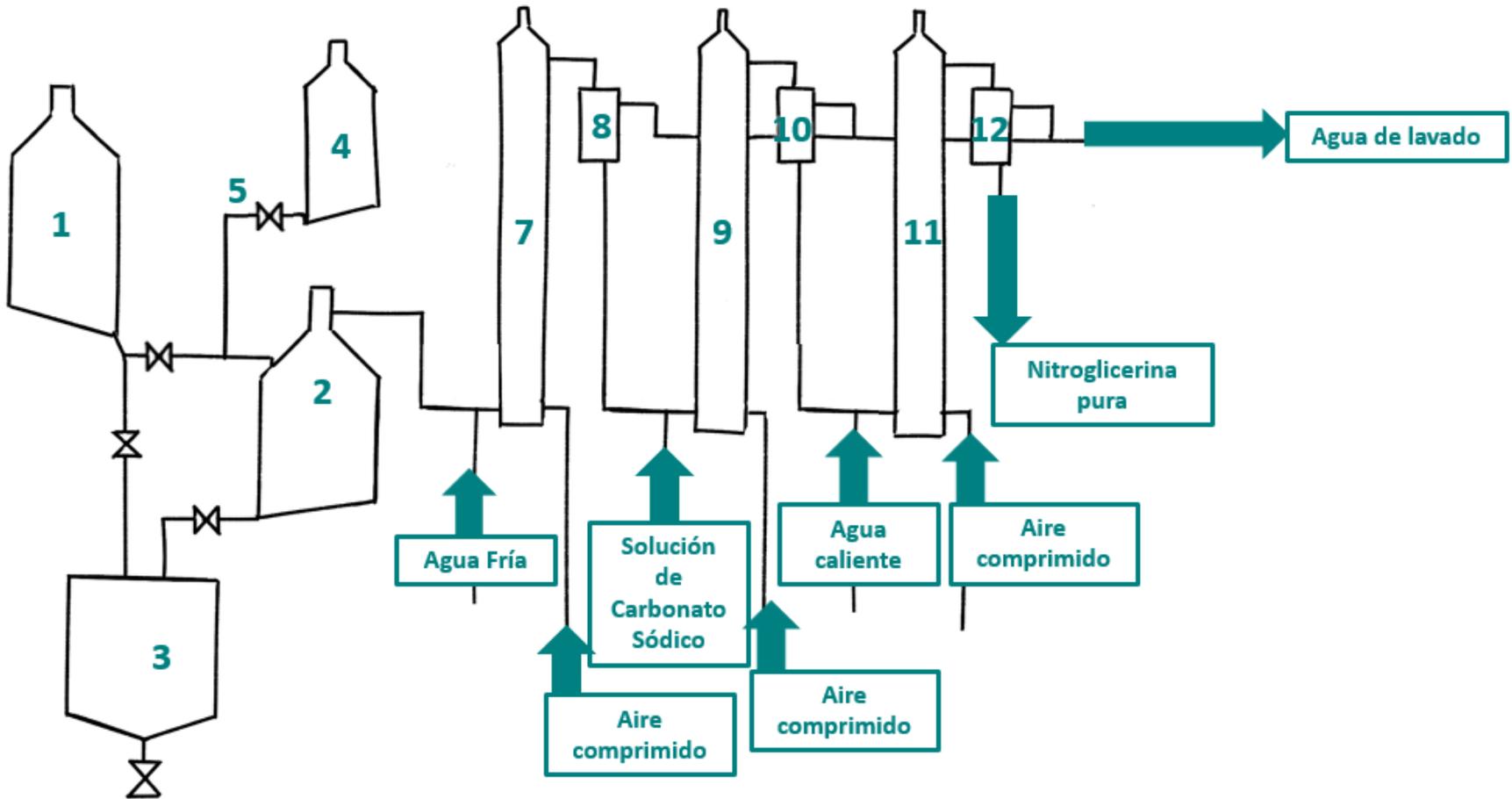
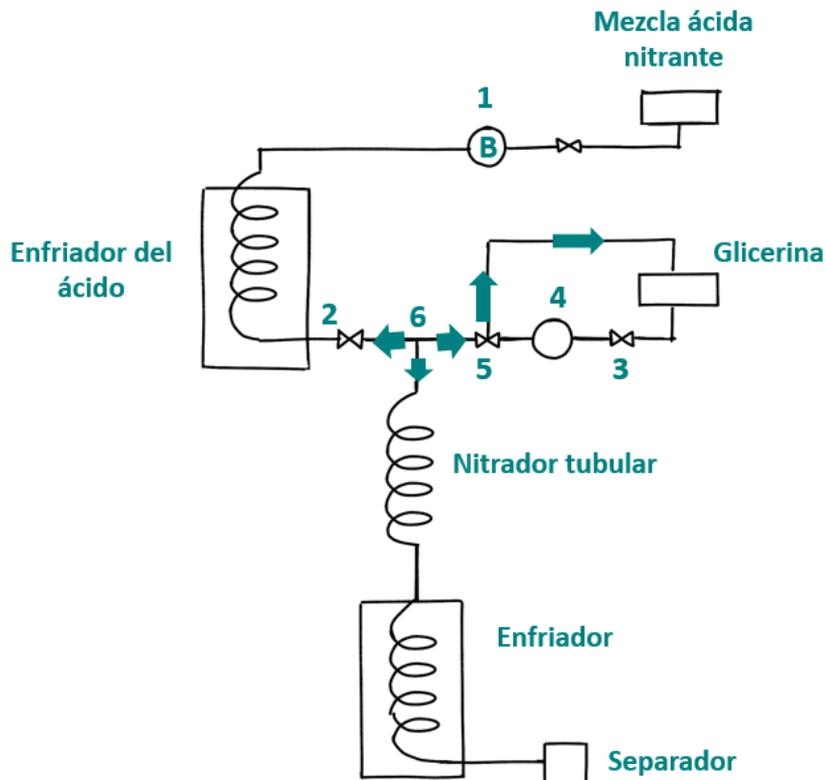


Diagrama de flujo del Método semicontinuo de Jarek.
(Adaptado de Urbanski, 1965).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: LA NITRACIÓN

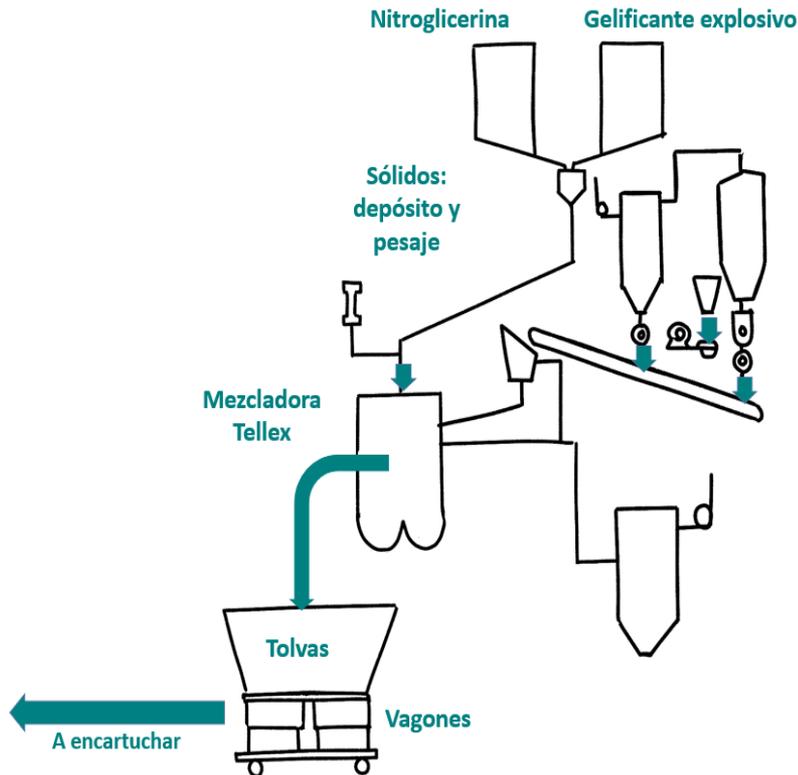


Hercules Tubular Nitrator

Hercules Tubular Nitrator: una corriente continua de glicerina fluye a través de un tubo hacia una zona igualmente tubular de reacción, donde se encuentra con una segunda corriente de ácido nitrante pre-enfriado. La zona de reacción tubular no está refrigerada, y la temperatura se controla a través de la regulación de la temperatura del ácido nitrante pre-enfriado, y con la proporción de ácido nitrante-glicerina. Es recomendable enfriar la mezcla de éster nítrico y ácido gastado para facilitar la separación del producto nitrado. Atendiendo a la figura siguiente, el ácido nitrante atravesaría la bomba 1 hacia el refrigerador y las válvulas 2 y 6, encontrándose con la glicerina en contracorriente, entrando ésta a través de la válvula 3, la bomba 4 y la bomba 5 al punto 6, en el que comienza la nitración, que prosigue en el nitrador tubular, antes de entrar en el refrigerador y finalmente en el separador.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LAS DINAMITAS GELATINOSAS

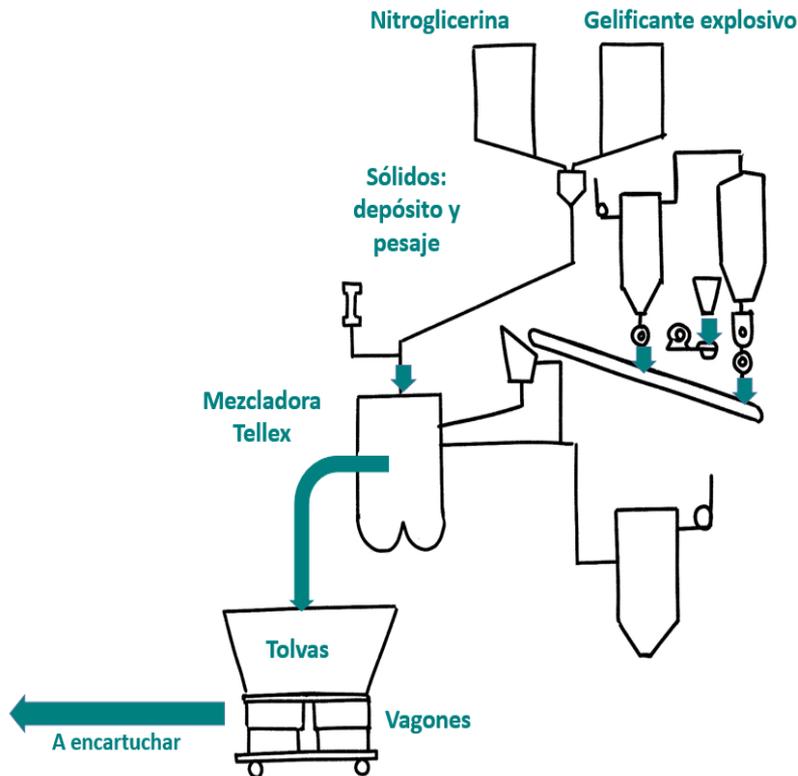


Esquema del proceso de fabricación de explosivos gelatinosos, con equipo mezclador Werner. (Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

El proceso de obtención de la dinamita puede dividirse en la preparación de las materias primas, mezcla, amasado, encartuchado y empaquetado. En primer lugar, la nitroglicerina y la nitrocelulosa se combinan en un mezclador con objeto de generar una mezcla maestra gelatinosa. Otros componentes a considerar en la mezcla pueden ser compuestos nitrados, nitratoamónico o almidón, que deben ser secados, triturados y filtrados con anterioridad al mezclado (ver dispositivos de secado en apartados siguientes). Una vez preparada la mezcla maestra y los restantes compuestos implicados, todos ellos se introducen en la mezcladora para conseguir una uniformización. Estos mezcladores pueden ser de tipo planetario, verticales (tipo Draix) u horizontales (tipo Tellex).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LAS DINAMITAS GELATINOSAS

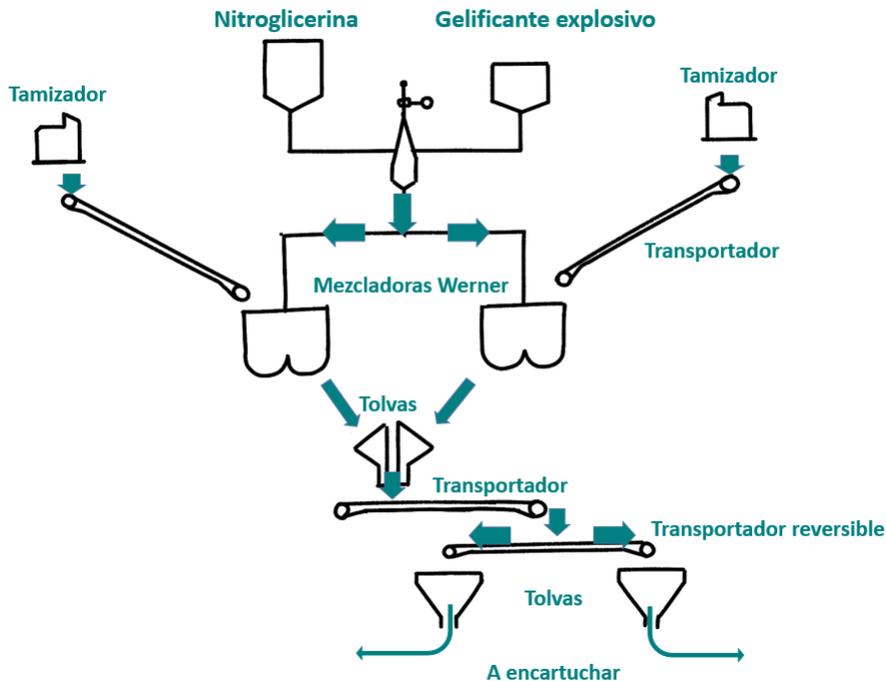


Esquema del proceso de fabricación de explosivos gelatinosos, con equipo mezclador Werner. (Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

Concluido el amasado, la mezcla se conduce mediante cinta transportadora a la máquina de encartuchado (pudiendo citar como ejemplo las máquinas de tipo Rollex), haciendo uso además de un dosificador que permita asegurar un óptimo control del proceso. La mezcla se presiona con rodillos y corta hasta proporcionarle las medidas adecuadas, para seguidamente proceder a la colocación del envoltorio, proceso que concluye con el doblado de los extremos. Con el fin de mejorar la resistencia al agua, suele recurrirse a papel parafinado, si bien en el caso de grandes calibres también resulta habitual recurrir al plástico como envoltorio. El paso final comprende la disposición en los paquetes finales de cartón.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LAS DINAMITAS PULVERULENTAS

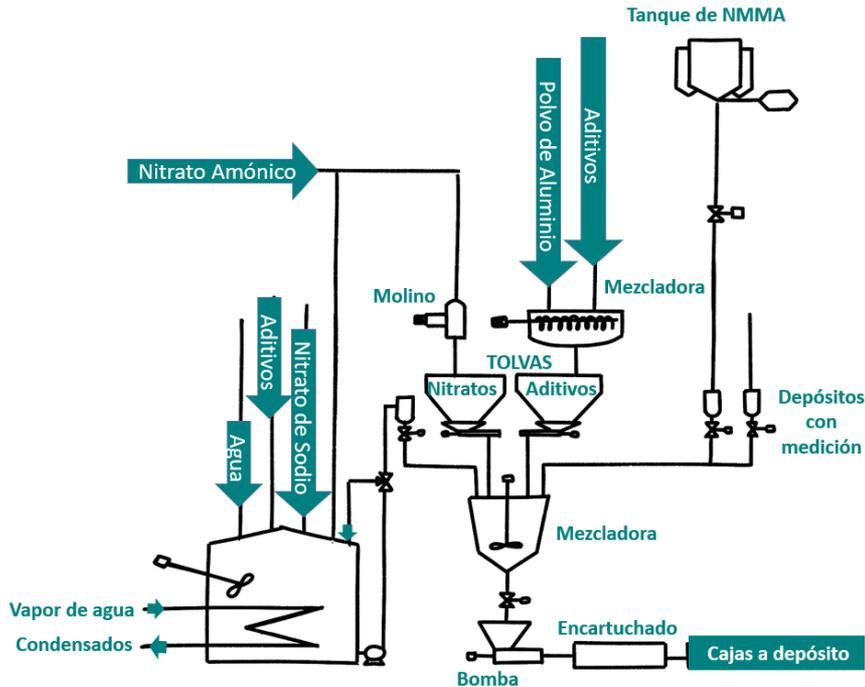


Esquema del proceso de fabricación de dinamitas pulverulentas.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

La fabricación de las dinamitas pulverulentas se caracteriza por su similitud con la de los explosivos gelatinosos, contando con fases de mezclado, obtención de la pasta explosiva y encartuchado. El mezclado puede realizarse en mezcladoras tipo Werner (de disposición horizontal, contando con dos ejes dotados de palas en espiral) o Drais. El encartuchado puede realizarse por gravedad. El cartucho debe prepararse anteriormente, para poder ser rellenado por uno de sus extremos en la máquina encartuchadora. La dosificación e introducción del explosivo se lleva a cabo con un husillo que dosifica e introduce el explosivo en el envoltorio.

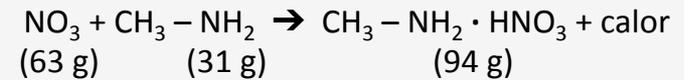
PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LOS HIDROGELES



Esquema del proceso de fabricación de hidrogel.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

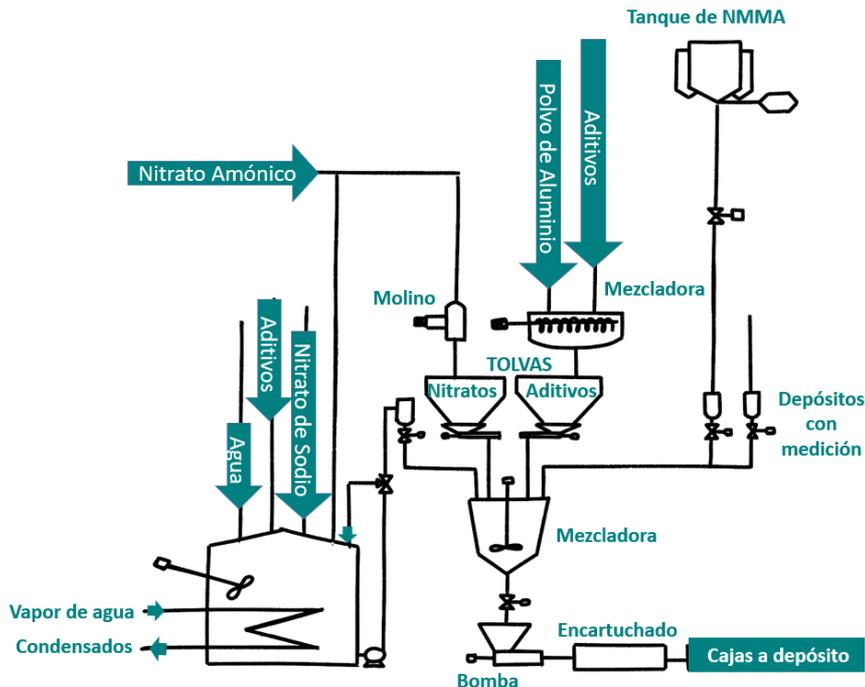
La mayor parte de los hidrogel presentan en su composición nitrato de monometilamina (NMMA) como sensibilizador. El empleo de este producto presenta como ventaja su solubilidad en agua, favoreciendo el contacto entre el combustible y la solución de oxidantes. El nitrato de monometilamina, que responde a la fórmula: $\text{CH}_3 - \text{NH}_2 \cdot \text{HNO}_3$, se obtiene a partir de la monometilamina ($\text{CH}_3 - \text{NH}_2$), producto gaseoso en condiciones normales, a través de una reacción simple de neutralización con ácido nítrico:



El rendimiento del proceso químico es de 3,03 g de nitrato monometilamina por gramo de monometilamina (Jara, 2000).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LOS HIDROGELES



Esquema del proceso de fabricación de hidrogel.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

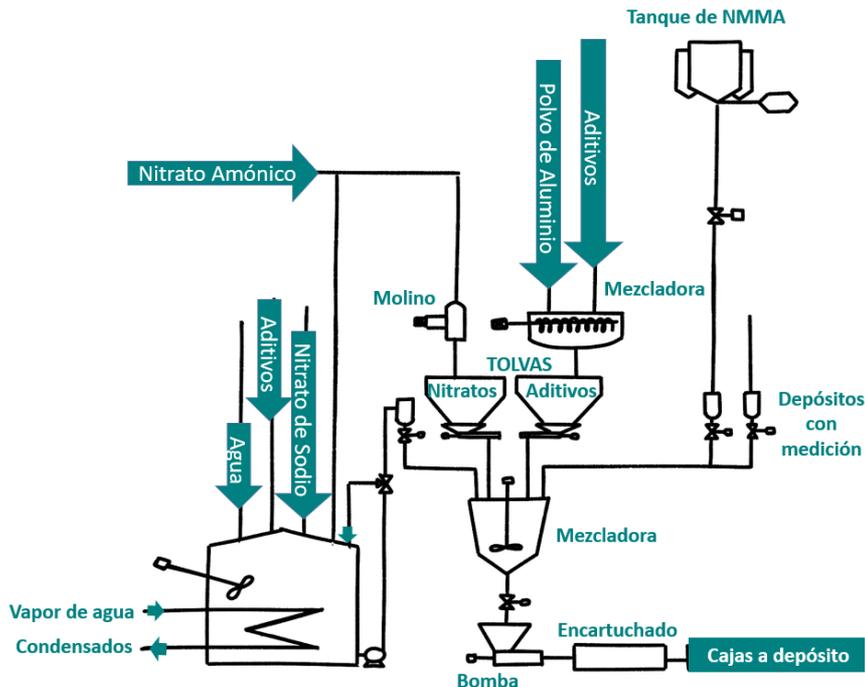
La solución de oxidante se compone de nitrato amónico y sódico en agua, contiene la práctica totalidad del agua y la mayor cantidad de sales del producto final. A esta solución se le añaden además compuestos destinados a incrementar la viscosidad, con el fin de evitar la segregación de los aditivos sólidos tras verificarse la mezcla. Es frecuente recurrir a la gasificación química, añadiendo tiourea, con el fin de sensibilizar la mezcla.

La operación de mezclado puede realizarse de forma continua o discontinua, en mezcladora dotada de agitador de velocidad regulable, adecuando ésta a la formulación específica en base a la que se trabaje. Esta operación comienza con la introducción de los aditivos líquidos ya mencionados, depositando posteriormente los sólidos mediante un dosificador, o habiéndolos pesado anteriormente.

Fuente: Sanchidrián, J. & Muñiz, E. (2000): «Curso de Tecnología de Explosivos». Fundación Gómez Pardo. Madrid. 545 Pp.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LOS HIDROGELES

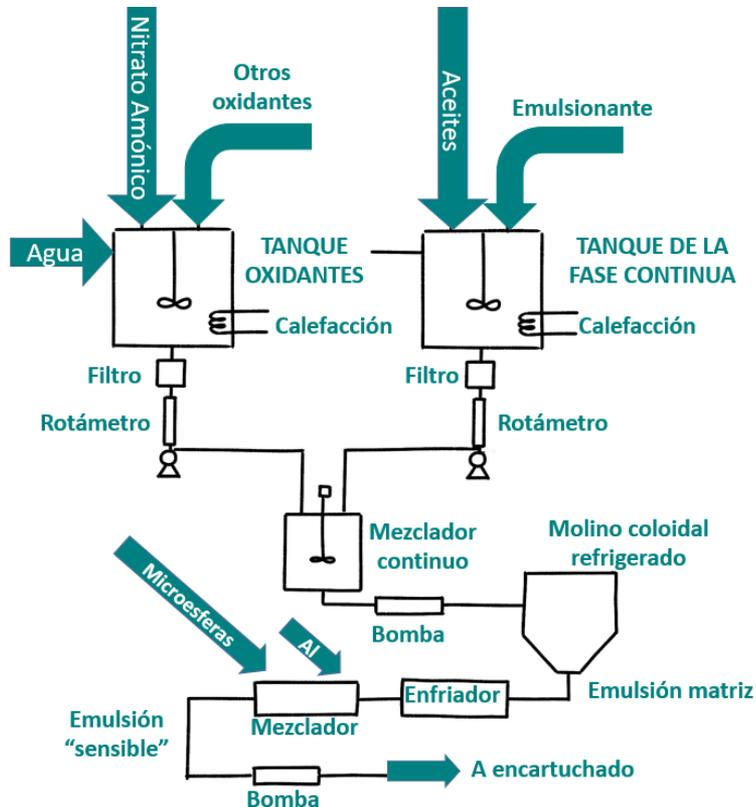


Esquema del proceso de fabricación de hidrogel.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

El producto mezclado se descarga seguidamente por gravedad en una tolva que alimenta la bomba que lo impulsará al sistema de encartuchado, operación automática realizado en un dispositivo de forma tubular, que alojará en explosivo en un film protector de polietileno o poliéster que deberá soldarse longitudinalmente mediante calor, o la aplicación de algún adhesivo adecuado. La dosificación se realiza en el interior del tubo, de forma continua, mediante una bomba dosificadora cuyo caudal se acomoda en base al diámetro y la velocidad lineal de formación del tubo plástico. Por último, un cabezal móvil grapará doblemente el tubo mientras lo acompaña, cortando el plástico entre los dos puntos de grapado.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LAS EMULSIONES



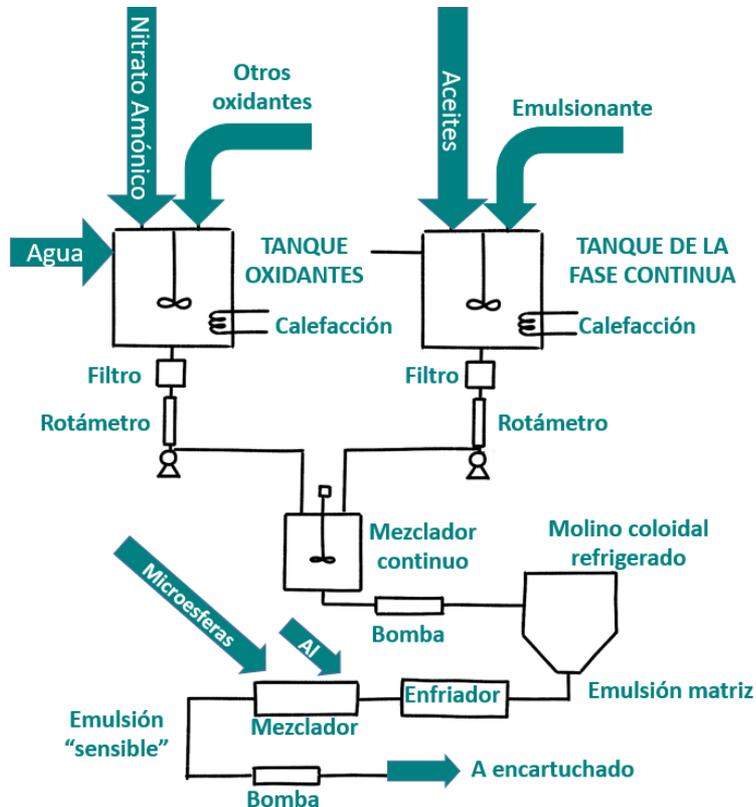
Esquema del proceso de fabricación de emulsión.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

El proceso de fabricación convencional de las emulsiones consta de cuatro fases fundamentales:

- Preparación de la emulsión básica.
- Refino de la emulsión básica.
- Mezcla de la emulsión básica con otros productos sólidos, con objeto de obtener el producto final.
- Encartuchado (en caso de tratarse de emulsión encartuchada).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LAS EMULSIONES



Esquema del proceso de fabricación de emulsión.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

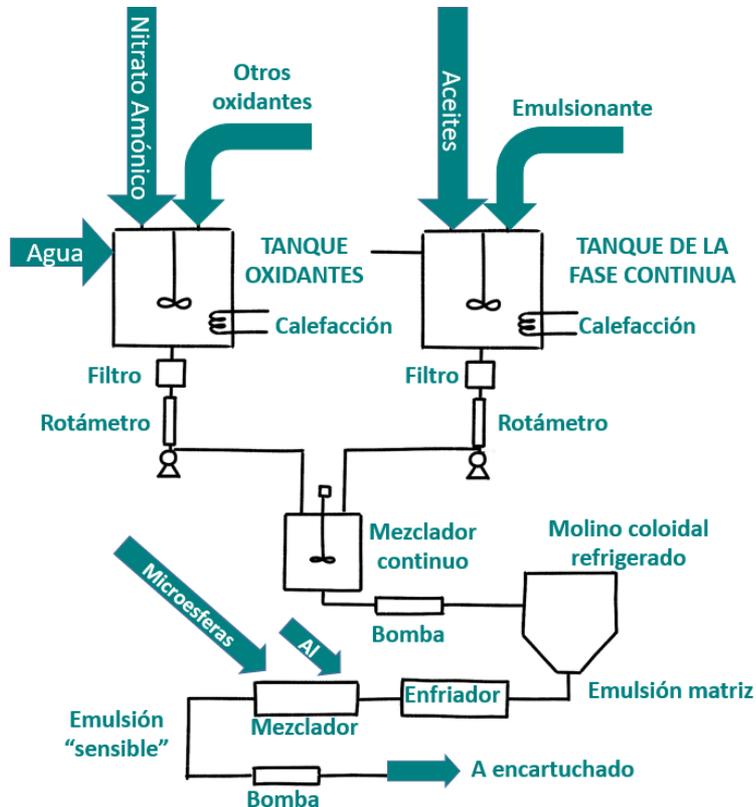
Preparación de la emulsión básica

La preparación de la emulsión básica se realiza a partir de una fase acuosa oxidante, otra orgánica reductora, y un agente emulsionante. La fase acuosa se compone de sales inorgánicas disueltas en agua. Entre ellas predomina el nitrato amónico, y se disuelven en agua mediante la agitación y el incremento de la temperatura, generando una solución concentrada y caliente de entre 89° y 90°C. En la fase orgánica reductora suele estar conformada por gasóleo, parafinas y otros aceites minerales, a los que deben añadirse los agentes emulsionantes. Las dos fases se dosifican en las proporciones adecuadas, y se bombean a un agitador en el que se preparará una emulsión grosera. En este proceso se produce una agitación rápida, generándose fuerzas de cizalla que rompen la interfase de los líquidos inmiscibles, consiguiéndose la formación de gotas de la fase acuosa dispersas en la fase oleosa, constituyente de la fase continua. La operación suele producirse de forma discontinua, o por medio de un mezclador continuo.

Fuente: Sanchidrián, J. & Muñiz, E. (2000): «Curso de Tecnología de Explosivos». Fundación Gómez Pardo. Madrid. 545 Pp.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LAS EMULSIONES



Esquema del proceso de fabricación de emulsión.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

Refino de la emulsión básica

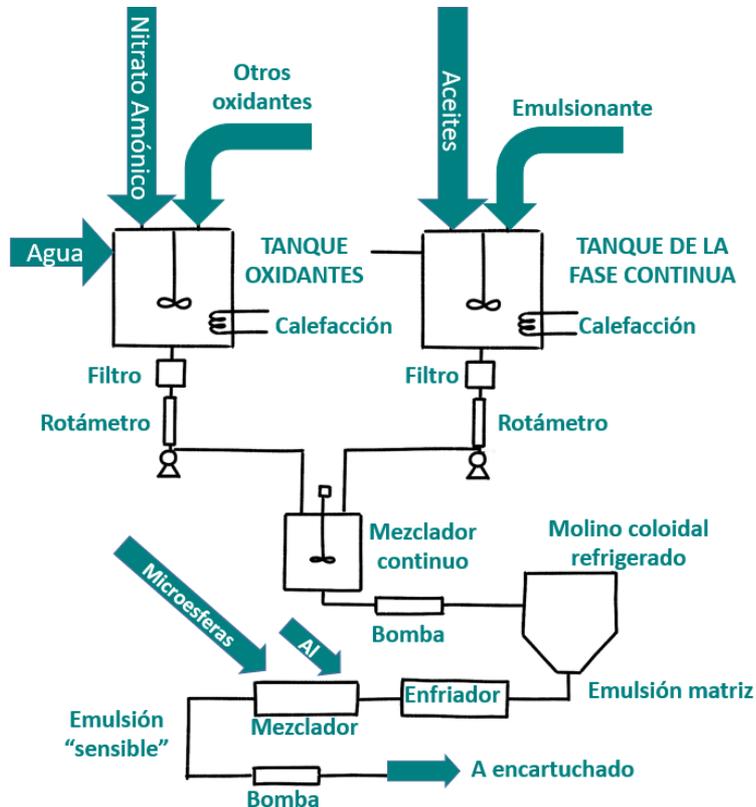
El objetivo de esta fase reside en la reducción del tamaño de las gotas de la fase acuosa, consiguiéndose una mayor estabilidad y homogeneidad, e incrementando de forma simultánea la sensibilidad, al incrementarse las superficies de contacto entre combustible y oxidante, mediante el paso de la emulsión por un molino coloidal.

Mezcla de la emulsión básica con otros sólidos

Una vez se ha obtenido la emulsión refinada, también conocida con el nombre de emulsión matriz, es posible añadir ingredientes sólidos tales como aluminio, agentes reductores de densidad, etc., con el fin de proporcionar al producto final determinadas propiedades especiales, sin que se experimente cambio alguno en la consistencia gelatinosa del producto final. El proceso se realiza utilizando una mezcladora horizontal, a la que la emulsión lleva por la acción de una bomba dosificadora, o bien por la acción de la gravedad desde el propio molino coloidal, quedando el producto final preparado para su encartuchado.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE LAS EMULSIONES



Esquema del proceso de fabricación de emulsión.
(Adaptado de Sanchidrián y Muñiz, 2002).

Encartuchado

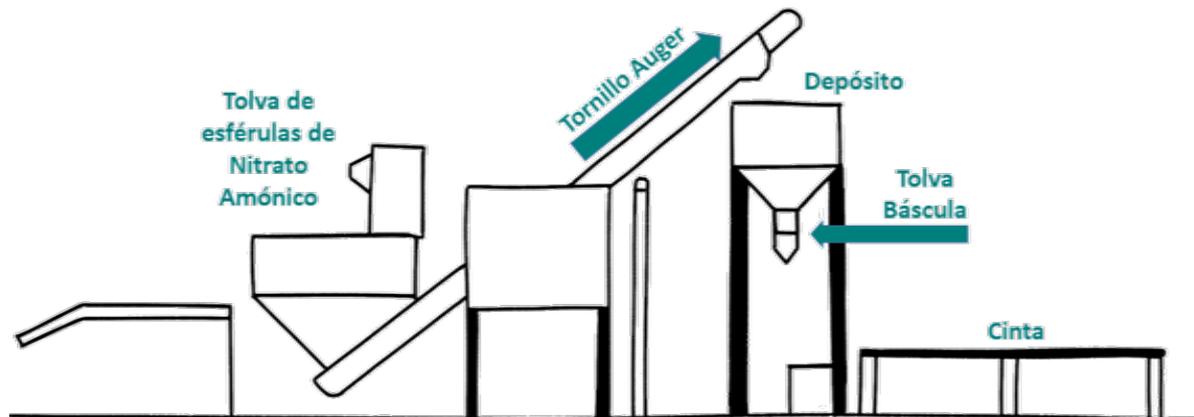
Se desarrolla de forma análoga a la vista en el caso de los hidrogeles. Como ya se ha señalado anteriormente, es posible plantear la utilización de las emulsiones a granel, bombeándolas directamente desde camiones cisterna a los barrenos, cuyo diámetro deberá superar los 50 mm.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PRODUCTOS FINALES

OBTENCIÓN DE ANFO

Fuente: Tatiya, R.R. (2005): «*Surface and Underground Excavations: Methods, Techniques and Equipment*». Taylor and Francis Group. Londres. 904 Pp.

En ocasiones las condiciones operativas de una determinada empresa hace que se requiera la disposición de una planta de mezclado y envasado en bolsas del ANFO, para la adecuada combinación y gestión de las combinaciones de nitrato amónico y fuel oil. Existen modelos modulares como que a priori permiten la inclusión de otros aditivos. Están provistos de una tolva con control automático del nivel, un mezclador de tornillo sin fin, y sensores internos para la medida tanto del nitrato amónico como del fuel oil. Permiten una gestión automatizada mediante controladores de programación lógica, para asegurar una adecuada precisión en las operaciones, y un proceso adecuado. Entre las ventajas que ofrece está la posibilidad de autolimpieza, con elementos de protección que evitan el acceso a partes móviles, la plataforma de trabajo con barandilla que permite el acceso en uno de los lados de la tolva de descarga, el propio mezclador de acero inoxidable dotado de un punto de inyección de ANFO y una entrada adicional para la inclusión de otros aditivos.



Esquema del proceso de fabricación de ANFO.
(Adaptado de Tatiya, 2005).

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

COLOR

Selección del oxidante.

Un oxidante destinado a obtener un color determinado de llama deberá, además de emitir la longitud de onda apropiada, reaccionar con el combustible seleccionado para producir la temperatura de la llama que mantiene las máximas emisiones de luz, en la longitud adecuada. Si la temperatura es demasiado baja, no se excitarán suficientes moléculas y se producirá un color leve. Si es excesiva, se descompondrá la molécula emisora, destruyendo la calidad del color. Es por ello que, por ejemplo, para utilizar nitrato potásico en la generación de llamas coloreadas, se debe incluir magnesio para elevar la temperatura de llama. Una fuente de Cloro también es requerida para volatilizar Cloruro de Bario (verde), o Cloruro de estroncio (rojo), ayudando además limitando la formación de óxido de magnesio, y de estroncio o bario, que perjudicaría la calidad del color.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

COLOR

Combustibles y velocidades de combustión.

Las aplicaciones que implican composiciones destinadas a la obtención de llamas coloreadas requieren mezclas que ardan rápidamente para dar una llamarada de color. En el caso por ejemplo de las luces de balizamiento o emergencia, o las lanzas empleadas para la creación de fuegos artificiales, se requieren tiempos de combustión de entre 1 y 30 minutos. Combustibles rápidos como la pólvora o el carbón vegetal no suelen incluirse en estas mechas lentas. Por el contrario, combustibles parcialmente oxidados como la deXtrina sí pueden usarse.

Intensificadores de color.

El cloro es una llave para obtener buenos rojos, verdes y azules. Cumple dos funciones: forma cloruros volátiles con los metales emisores de los colores, y aseguran una concentración suficiente para la emisión en la fase vapor. Estas especies son además buenas emisoras de banda estrecha. Estas dos propiedades son imprescindibles para una buena emisión de calor. El uso de cloratos o percloratos es una vía para su inclusión, mientras que otra posibilidad es el uso de compuestos orgánicos ricos en cloro. Valores orientativos que pueden proponerse son aquellos entre 2-3% de un donante de cloro en composiciones que no incluyan combustible metálico, y de entre 10 y 15% en mezclas de alta temperatura que contengan combustibles metálicos.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

COLOR

Composiciones para llama roja.

El mejor emisor se consigue con el monoclóruo de estroncio molecular, inestable a temperatura ambiente, que se genera como consecuencia de la reacción entre átomos de estroncio y cloro. El nitrato de estroncio a veces se emplea además como oxidante y fuente de color en las mezclas.

Llama verde.

Un compuesto de bario y cloro incluidos en la mezcla pueden generar monoclóruo de Bario, BaCl, excelente emisor verde. El nitrato de Bario es aceptable como fuente de verde y más seguro para su uso, ya que el Cloruro de Bario es inestable y puede formar mezclas explosivas con buenos combustibles.

Llama azul.

Debe alcanzarse un adecuado balance en la temperatura y la conducta molecular para alcanzar una profunda llama verde, pero se puede llegar a conseguir teniendo en cuenta que la región azul se obtiene del Cloruro de Cobre, CuCl. Temperaturas por encima de los 1200°C y llamas ricas en oxígeno hacen la que se inestabilice y de CuO y CuOH, que emiten en rojo y verde respectivamente. Antigüamente se usaba el acetoarsenito de cobre, pero se retiró por los problemas asociados a su contenido en arsénico.

Llamas violetas.

Una de las opciones más “jóvenes”, lograda a través de la adecuada composición de emisores de azul y rojo.

Llamas amarillas

Obtenido por emisión atómica de sodio.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

PRODUCCIÓN

Las operaciones más arriesgadas en el campo de la química de alta energía implican la mezcla de un oxidante y un combustible en grandes cantidades, y el posterior secado de la composición (en caso de que agua u otro líquido se use para los procesos de mezcla y granulado). En estas operaciones, grandes cantidades de pólvora “bruta” se presenta en una localización concreta, y si una ignición accidental ocurriese, habría muchas posibilidades de que se alcanzase una reacción de deflagración.

Por esta razón, las operaciones de mezcla y secado deberían aislarse de otros procesos de la planta, y controlar de forma remota los equipos siempre que fuese posible. Todas las instalaciones en las que se desarrolle la manufactura de productos químicos de alta energía deberían diseñarse con la idea de que un accidente ocurrirá en algún momento de la vida de la instalación. La planta debería diseñarse para minimizar el daño a las instalaciones, entorno y, sobre todo, al propio personal. La operación puede dividirse en varias etapas:

🌱 PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

PRODUCCIÓN

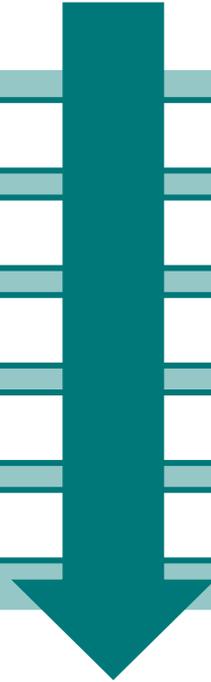
PREPARACIÓN DE COMPONENTES INDIVIDUALES

PREPARACIÓN DE LAS COMPOSICIONES

GRANULACIÓN

CARGA

TESTADO



PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

PREPARACIÓN DE COMPONENTES INDIVIDUALES

Los materiales deben secados, y triturados o molidos para alcanzar el adecuado tamaño de partícula, y cribados con el fin de evitar partículas de tamaño excesivo o cuerpos extraños. Los oxidantes nunca deberían procesarse con los mismos equipos que los combustibles, ni almacenados en la misma zona con anterioridad al uso. Todos los materiales deben estar debidamente etiquetados.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

PRODUCCIÓN

PREPARACIÓN DE LAS COMPOSICIONES

Etapa clave para unas adecuadas propiedades de las mezclas. Una mayor homogeneidad conlleva una mayor reactividad. El incremento de la reactividad mediante una reducción de los tamaños de partícula y la mezcla íntima, implica también la posibilidad de ignición accidental durante la manufactura y el almacenamiento, por lo que se alcanza una solución de compromiso, de tal manera que el material actúe de forma satisfactoria, y se pueda operar con unas condiciones adecuadas de seguridad. Este compromiso se alcanza mediante una adecuada especificación del tamaño de partícula, el grado de pureza de los productos empleados para la fabricación, y unos procedimientos desarrollados en condiciones de seguridad.

Varios son los métodos que pueden aplicarse para la mezcla. Los materiales pueden ser mezclados a través de cribas de alambre (wire screen), empleando para ello cepillos. El cribado manual aún en la actualidad se aplica en ocasiones en la industria de los fuegos artificiales a nivel internacional, pero debe evitarse su empleo con explosivos o mezclas inestables. Los cepillos ofrecen un método más seguro para cribar el oxidante y el combustible juntos. Los materiales también pueden hacerse girar juntos para alcanzar la homogeneidad, y esto debería hacerse de forma remota. La mezcla remota es altamente recomendada para composiciones sensibles, tales como la pólvora destinada a obtener efectos “flash and sound” (flash y sonido), empleada en firecrackers (petardos), salvas y pólvoras “photoflash” empleadas por los militares.

PROCESOS DE FABRICACIÓN: PIROTECNIA

PRODUCCIÓN

GENERACIÓN DEL GRANULADO

Tras la mezcla, las pólvoras con frecuencia se granulan empleando un pequeño porcentaje de ligante. La composición se trata con agua o un líquido orgánico (como el alcohol), y luego se criba a través de una maya de luz más grande. Los granos de compuesto bien mezclados mantendrán el grado de homogeneidad mejor que la pólvora suelta. Sin el paso de granulado, los materiales se podrían disgregar en base a su densidad. El material granulado debe secarse en un área remoto y aislado, y estará listo para ser cargado en los productos terminados. Debe recordarse que las cantidades de pólvora bruta presentes en esta etapa son elevadas, y el material debe protegerse de calor, fricción, golpes, cargas estáticas y otros estímulos eléctricos.