



ANTEPROYECTO DE UNA INSTALACIÓN DE PRODUCCIÓN DE TRINITROTOLUENO (TNT)

MEMORIA

Autor: Jesús Giménez Cebrián

Director: Eva Francés
Especialidad: Química
Convocatoria: Septiembre 2011

-Índice-

1. Objetivo y justificación.....	4
2. Información sobre 2,4,6-trinitrotolueno.....	5
2.1. Usos.....	5
2.2. Carácter explosivo.....	6
2.3. Seguridad y toxicidad	6
3. Emplazamiento.....	8
4. Distribución en planta.	11
4.1. Distribución del edificio de oficinas y laboratorio.....	11
4.2. Distribución edificio de nitración	12
4.3. Distribución edificio de purificación.....	13
4.4. Almacén	13
5. Proceso de fabricación.....	14
5.1. Método elegido.....	14
5.2. Diagrama de proceso	18
6. Justificación y dimensionamiento de equipos.	19
6.1. Equipo principal.....	19
6.1.1. Silos y contenedores de almacenamiento.....	19
6.1.2. Contenedores o reactores de dilución (premezcla).....	21
6.1.3. Nitradores.....	21
6.1.4. Cristalizador y filtro	24
6.1.5. Cuba de lavado	25
6.1.6. Secador	25
6.1.7. Rodillo de conformado o “drum flaked”	26
6.1.8. Empaquetadora	28
6.1.9. Torre de refrigeración	30
6.2. Trasportes internos	31
6.2.1. Elevador de canjilones.....	31
6.2.2. Carretilla elevadora.....	33
6.3. Tuberías y bombas.....	36
6.3.1. Tipo de tubería empleada.....	36
6.3.2. Diámetro de las tuberías y accesorios	36
6.3.3. Bombas	38
6.4. Lazos de control.....	42
7. Régimen de fabricación.....	45
7.1. Personal empleado	45

7.2.	Personal en planta de producción	46
7.3.	Oficinas	48
8.	Fuentes de información.....	49

1. Objetivo y justificación

El presente proyecto tiene por objeto la realización del anteproyecto de una instalación necesarias para la puesta en funcionamiento de una industria de manufactura de TNT, con una producción aproximada de 10 toneladas de producto por semana.

El TNT o 2-4-6-trinitrotolueno (el nombre comercial en España es Trilita[®]) es un explosivo secundario, a temperatura ambiente se presenta en forma de cristales amarillos que funde a 81°C. Es un explosivo que necesita de una energía mayor para su detonación, siendo mucho más insensible a la fricción que la nitroglicerina y por lo tanto, más seguro.

No obstante es un explosivo del que no se hace prácticamente uso en estado puro, si no que se mezcla con otras sustancias para obtener mezclas explosivas más estables o potentes. Así pues, surgen los amatoles de la mezcla de TNT con nitrato de amonio (de la familia de los ANFO's), los minoles al mezclarlo con aluminio en polvo y numerosísimas mezclas con otros explosivos como RDX o HMX. De aquí surge la idea de construir una planta de producción de trinitrotolueno, base de prácticamente la totalidad de mezclas explosivas.

2. Información sobre 2,4,6-trinitrotolueno.

En el anexo puede encontrarse la ficha de seguridad del trinitrotolueno.

2.1. Usos

TNT es uno de los explosivos más común para los usos militares e industriales. Se valora debido a su insensibilidad a sacudidas eléctricas y a la fricción, que reduce el riesgo de accidental detonación. TNT funde en a 80°C (176 °F), por debajo de la temperatura en la cual detonará espontáneamente, permitiendo que sea vertido de forma líquida y mezclado con otros explosivos sin riesgo. El TNT ni absorbe ni se disuelve en el agua, que permite que sea utilizado con eficacia en ambientes mojados. Además, es relativamente estable cuando está comparado a otros explosivos altos.

Aunque los bloques de TNT están disponibles en varios tamaños (eg. 250 g, 500 g, 1.000 g e igualan 20 kilogramos), se encuentra comúnmente mezclados con porcentajes variables de otros explosivos. Los ejemplos de las mezclas explosivas que contienen TNT incluyen:

- Amatol.
- Amonal
- Baratol
- Composición B
- Composición H6
- Ednatol
- Hexanite
- Minol
- Octal
- Pentolite
- Picratol
- Tetrytol
- Torpes
- Tritonal



Figura 1. Cartuchos de TNT

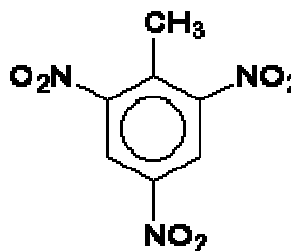


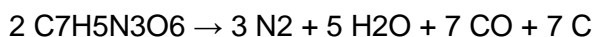
Figura 2. Molécula de TNT

El TNT y DNT producido en el proceso también se usan como colorantes en la industria textil, si bien es preferible hacer uso del ácido pícrico.

2.2. *Carácter explosivo*

Es una idea común que el TNT y la dinamita es lo mismo, o que la dinamita contiene TNT. Esto es falso ya que, mientras el TNT es un compuesto químico específico, la dinamita no es más que una mezcla de sustancias, concretamente nitroglicerina adsorbida en una masa de arcilla y tierra de diatomeas, prensada y envuelta en un cartucho de papel con mecha.

Sobre detonación, TNT se descompone como sigue:



La reacción es exotérmica pero tiene un límite respecto a energía de activación, de ahí que sea más insensible que el resto de explosivos. Para detonar TNT se necesitará siempre de una gran temperatura, un multiplicador o un detonador eléctrico. Debido a la producción de carbón, Las explosiones de TNT tienen un aspecto fuliginoso.

Algunas características sobre su explosividad son:

- Velocidad de detonación: 7000 m/s
- Entalpía de explosión de 599 cal/kg
- Energía de choque de 2957896 kg-f/kg explosivo
- No detona al ser atravesado por proyectiles a velocidades menores de 860 m/s

2.3. *Seguridad y toxicidad*

TNT es venenoso al contacto con la piel. El contacto puede causar la irritación de piel, haciéndola tornar a un color amarillo-anaranjado brillante. Durante Primera guerra mundial, los trabajadores de la munición que manejaron el producto químico encontraron que su piel dio se torno de color amarillo brillante, que dio lugar a la adquisición del apodo “muchachas amarillas” o simplemente las “Canarias.”

Gente expuesta a excedentes de TNT en un período prolongado tiende a experimentar anemia y funciones anormales en el hígado. Provoca daños en el sistema inmune, afectando a la sangre y al bazo. En hombres puede provocar infertilidad En animales

el TNT es nocivo por inhalación. Se considera por la EPA como un agente cancerígeno para el ser humano.

Es altamente contaminante para el medio ambiente. Su llegada a ríos y mares puede provocar el fenómeno de “agua rosada” en cuencas.

3. Emplazamiento

La parcela estará ubicada en el Parque Huelva Empresarial, en Huelva, España. La parcela será la 20.1 situada en la calle Longitudinal-2, dispone de 74040,25 m² y una buena comunicación, estando cercana a carreteras nacionales y de autopistas, así como cercanía a puertos marítimos. Características:

- Comunicaciones:
 - o Desde Huelva, en coche, por la carretera H-31 y tras diez minutos de trayecto tomar el desvío (ver figura 3).
 - o Desde Sevilla, en coche, por la Autopista del Quinto centenario y tras recorrer 80 km (alrededor de 1 hora) tomar la salida de San Juan del Puerto (ver figura 3).
 - o Puerto marítimo en Huelva.
- La parcela está lo suficientemente alejada de poblaciones civiles (tal como aconseja la normativa Seveso para las plantas químicas peligrosas).
- Cercanía a industrias suministradoras de materias primas:
 - o Refinerías de petróleo (obtención del tolueno como base del TNT).
 - o Industrias de producción de ácido sulfúrico y derivados (*Obtención de ácido sulfúrico en Huelva*. Rafael E.Romero, 2008).

Las condiciones climatológicas son bastante suaves debido a la cercanía al mar, si bien en verano las temperaturas suelen ser más elevadas de la media Española. No serán un inconveniente ya que la planta industrial estará a cubierto.

En cuanto al parque empresarial ofrece suministro eléctrico, agua potable y red de saneamiento de aguas. La parcela será lo suficientemente grande para albergar los edificios necesarios así como para dejar las superficies de separación requeridas para la seguridad (*Normativa Seveso*).



Figura 3. Mapa de localización del parque empresarial donde se sitúa la parcela.

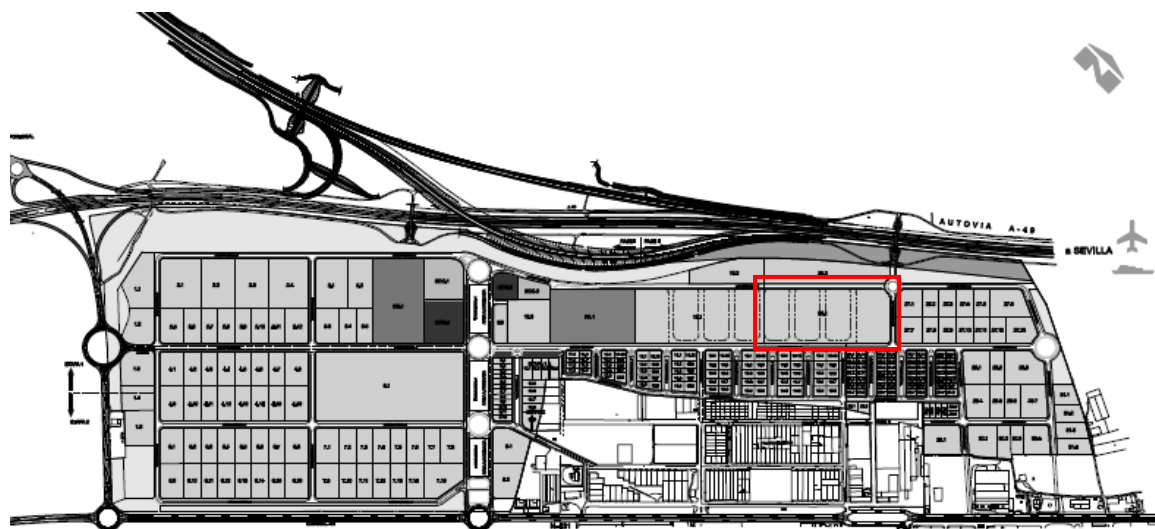


Figura 4. Localización de la parcela dentro del parque empresarial.

4. Distribución en planta.

La distribución de la planta se realizará en cuatro edificios: edificio reservado para las oficinas y laboratorio, edificio de nitración, edificio de purificación y almacén.

La razón por la que no se realiza todos los procesos en el mismo edificio es por motivos de seguridad. Separando los edificios de nitración de lavado de TNT evitamos que, en caso de explosión, los productos de cada edificio no detonen por onda simpática, minimizando los daños. El edificio que más alejado estará será el almacén, cubierto por muros de tierra.

4.1. *Distribución del edificio de oficinas y laboratorio*

El edificio, de base rectangular, que se encuentra en la entrada de la parcela, se destinará para oficinas y el laboratorio de calidad. El edificio se compondrá de tres plantas: sótano, planta calle y primera planta. La altura de cada planta será la estándar, como en un domicilio, entre 2,5 y 3 metros y el área de 262.5 m² (15x17.5m).

Planta calle:

Al entrar en el edificio se encuentra un hall desde donde se verán enfrente y a la derecha, pegada a la pared, unas escaleras con descansillo. Éstas nos conducirán hacia el laboratorio, en el sótano y a la segunda planta. A su izquierda estará el ascensor, el cual podrá llegar hasta las tres plantas.

En el hall habrá asientos y una recepción, situada a la izquierda de éste. Del hall saldrá un pasillo que nos conducirá a los servicios y a la sala de oficinas de administración, que a su vez conducirá al despacho del director.

Sótano:

En el sótano se encontrará el laboratorio. Una puerta con control de acceso separará el laboratorio del hall del sótano. En el laboratorio habrá una oficina pequeña, para el personal destinado a esta sección y un baño comunitario. Una salida de emergencia

situada al fondo de la sala comunicará el sótano con la plaza de carga y descarga de camiones.

Primera planta:

La primera planta, subiendo desde la planta calle, ofrecerá un pequeño hall con asientos. Un pasillo conectará este hall con los servicios, situados a la derecha del pasillo según se entra y el resto de salas que son las siguientes:

- Zona de descanso y comedor: Aquí los empleados podrán descansar y comer. La sala estará compuesta por sillas, mesas, una máquina de café y un horno microondas.
- Oficinas: estas oficinas estarán destinadas para los comerciales y demás ejecutivos que trabajen para la empresa.
- Sala de juntas: La sala de juntas, destinada para grandes reuniones, estará compuesta por una mesa alargada con asientos, un ordenador y un proyector.

4.2. Distribución edificio de nitración

En el edificio de nitración se llevarán a cabo las operaciones de dilución de ácidos, nitraciones sucesivas, cristalizado y filtrado del TNT bruto. El edificio, de planta rectangular, contará con aproximadamente con 3200m², de 40 x 80m, de 5 metros de alto. Dispondrá de entradas por los cuatro costados, siendo la entrada oeste lo suficientemente grande para la entrada de un toro mecánico. Tendrá de las siguientes zonas:

- Muelle de carga: situado al sur del edificio, con una superficie aproximada de 1400 m² (no resta superficie al edificio), por donde se realizará el suministro de las materias primas y se recogerán los ácidos gastados.
- Sala de control: de aproximadamente 40m². Dedicada para el seguimiento de las reacciones y condiciones de proceso. Tendrá un vestuario y un servicio.
- El resto de la superficie se dedica a la estancia de los silos, reactores y demás equipo. Los silos se colocarán en la zona sur, cerca del muelle de carga, los contenedores de premezcla próximos a los silos y los reactores y el resto del

equipo al norte de la sala. Los reactores estarán separados una distancia aproximada de 10 metros entre cada uno de ellos y otros 10 de los silos de almacenamiento.

4.3. *Distribución edificio de purificación*

En el edificio de purificación se llevarán a cabo las operaciones de lavado, secado y conformado del producto. El edificio será de planta rectangular, de 30 x 60 m y de 5 metros de altura, con entradas por los cuatro puntos cardinales, siendo la entrada norte especialmente grande para la cabida de una carretilla elevadora. Dispondrá de las siguientes salas:

- Zona de purificación y conformado: en esta sala se llevará acabo el lavado, secado y conformado.
- Muelle de carga: situado al Oeste del edificio, de características similares al construido en el edificio de nitración.
- Zona de empaquetado: dado que en esta sala es posible el contacto humano directo con el TNT se ha querido separar del resto del proceso. Los trabajadores de esta sala entraran con el equipo recomendado para el trabajo en esta sala. Superficie aproximada de 200 m².
- Vestuario y servicio. 40 m²

4.4. *Almacén*

El almacén es el edificio que más sistemas de protección deberá tener. Tendrá una superficie de 2500 m², de planta cuadrada, de 2 metros de altura. Será un bunker de planta cuadrada, construido enteramente en hormigón y rodeado por un muro de tierra tan alto como el edificio, situado a 20 metros del edificio.

Dispondrá de una sola salida por la parte sur, donde se situará un pequeño muelle de carga y una caseta para los guardias de seguridad.

5. Proceso de fabricación.

5.1. *Método elegido*

Se ha seguido el recorrido de síntesis original de 1914 introduciendo equipos más modernos y el uso de controladores. El método de obtención de TNT Francés sigue los siguientes métodos:

1. **Pesada o medida de volúmenes de reactantes.** El tolueno se vierte en el primer reactor. Al ser un volumen fijo bastará con hacer uso de una tolva de vaciado automático que nos suministre la cantidad necesaria desde el silo de almacenamiento de tolueno. Una alternativa consistiría en un sensor de presión o pesada conectado a una válvula de cierre todo/nada en la tubería de conexión del silo de almacenaje de tolueno.

Por otro lado, el ácido sulfúrico y el nítrico, en sus cantidades ajustadas, se verterían en un contenedor de premezcla hasta que se obtenga una disolución homogénea. El ácido nítrico y sulfúrico son miscibles a cualquier proporción, la misión principal del contenedor de premezcla no es más que absorber el calor generado durante la dilución del sulfúrico en el agua que contiene el ácido nítrico del 66%. La temperatura a la que debe obtenerse la mezcla vendrá dada por la temperatura del tolueno (temperatura ambiente variable).

2. **Nitración de tolueno a MNT.** Una vez contenido el tolueno en el primer nitrador y los ácidos en la cuba de premezcla se procederá a verter la mezcla sulfonítrica sobre el tolueno, siempre en ese **orden**. Si se alterase el orden y el tolueno se añadiera sobre la mezcla ácida se podría producir compuestos nitrados inestables. Durante la adicción de la mezcla ácida y el tolueno la temperatura no aumentará de 40°C (de ahí que dependa la temperatura final de la mezcla sulfonítrica, ya que no se podrá saber a ciencia cierta la temperatura del tolueno que a su vez depende de la temperatura ambiente) y se mantendrá una agitación constante. Una vez vertido y mezclados los reactivos se aumentará la temperatura a 60 °C y se mantendrá durante 1 hora con agitación para que comience la reacción. Después de la reacción se dejará enfriar el contenido del reactor a temperatura ambiente (alrededor de 16 °C) y

en reposo para que se formen dos capas: la capa superior, la orgánica, rica en MNT y la inferior, el ácido gastado. Se decantará la fase orgánica, dejando evacuar el ácido por la parte inferior del reactor y se trasladará el MNT al siguiente reactor. En cuanto al ácido gastado de la primera nitración se conducirá a un tanque de ácido residual.

3. Nitración de MNT a DNT. El MNT de la primera nitración se llevará mediante un sistema de tuberías y bombas al reactor de segunda nitración. Mientras tanto una nueva mezcla sulfonítrica se estará preparando en un contenedor de premezcla y será vertido en el segundo nitrador. El ácido se verterá sobre el MNT en dos horas, durante la primera la temperatura no aumentará más allá de 40°C y en la segunda hora de 50°C, siempre con agitación mecánica constante. Cuando los reactivos se han mezclado completamente se elevará la temperatura a 90°C durante una hora y media. Tras finalizar la reacción se enfriará el contenido a 65°C (punto de fusión del DNT entre 56-58°C). Tras la formación de dos capas se evacuará el ácido gastado por la parte inferior y se llevará el DNT al tercer y último nitrador.

4. Nitración de DNT a TNT. El DNT obtenido se lleva al tercer y último nitrador donde se mezcla con ácido sulfúrico en una proporción 1:1 en peso, a una temperatura de 60°C. Mientras tanto, en el contenedor de premezcla una mezcla de ácidos concentrados se prepara para añadirla, a una temperatura de 80 – 90°C. Se mezcla en el nitrador con agitación constante durante dos horas en las cuales se ha de alcanzar una temperatura de 105 °C. Después se eleva la temperatura a 120 °C y se mantiene durante una hora y media.

Cuando la reacción se ha completado se detiene la agitación mecánica. El TNT acabará formando la capa superior, separándose de los ácidos sobrantes.

5. Separación del TNT de la mezcla nitrante. La separación por decantación del trinitrotolueno en este caso resulta poco útil. A la temperatura de reacción la solubilidad del compuesto en ácido sulfúrico resulta apreciable. Es por esta razón por la que se suelen utilizar diversos métodos para recuperarlo. Se hará uso de un cristizador industrial combinado con filtros, de esta forma favoreceremos la recuperación del trinitrotolueno y mejoraremos su pureza.

6. Lavado del TNT. El TNT filtrado es recogido y llevado a una nueva cuba donde es lavado con una disolución de Na_2SO_3 al 7,5%, a temperatura ambiente y en periodo de dos horas. Se pretende con este paso eliminar posibles restos de ácidos adheridos a las paredes de los cristales. Después de retirar la disolución neutralizadora (que quedará en la capa superior, $\text{sp.gr.tnt} = 1,467$) se lavará el TNT cuatro veces con agua.

7. Secado del TNT. Para el secado del TNT se solía emplear un secador industrial de hierro similar al de la figura. Por la tubería superior se dejaba escapar las humedades y se recogía el producto seco por la parte inferior. Para el secado se introducía por la parte inferior aire seco. Se mantenía una temperatura de 90°C y al final de la operación se aumentaba a 105°C .

En la actualidad se puede hacer uso de un secador industrial corriente, manteniendo las temperaturas dadas y haciendo pasar una corriente de gas seco.

8. Conformación final del TNT. El TNT se suele presentar en granos o “escamado” (“flaked” e inglés o a copos), partículas finas y alargadas como trozos de papel partido. La segunda opción es la más popular ya que permite al explosivo empaquetarse de mejor forma en el casquillo de los proyectiles sin dejar tantos huecos.

Para transformarlo a copos se hace uso de un “Flaked Drumm”, un cilindro grueso cuya parte inferior está sumergido en trinitrotolueno fundido a 80°C . Por una camisa exterior del cilindro se hace circular agua fría que, al contacto con el TNT, hace que este se solidifique en la superficie. El cilindro continúa girando y una cuchilla situada cerca de la superficie despega el producto del cilindro, haciendo que caiga en un contenedor, obteniendo de esta forma un TNT puro y solidificado.

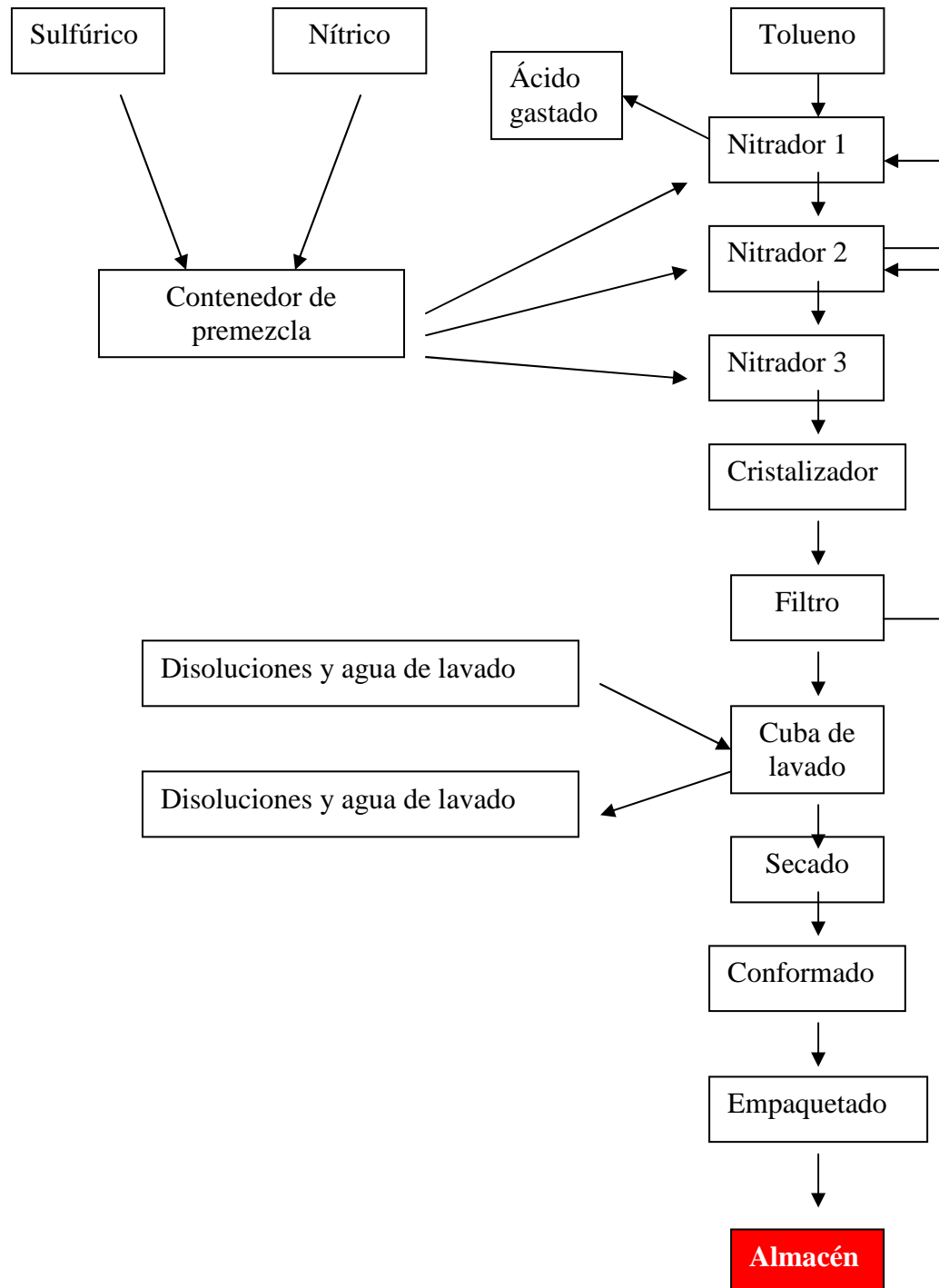
9. Fortificación de los ácidos. El método de producción de trinitrotolueno Francés se basa en el uso de ácidos diluidos de nitraciones superiores, es decir, del uso de ácidos gastados en la trinitración en la dinitración, así como los ácidos gastados de la dinitración en la mononitración.

Los porcentajes de las mezclas sulfonítricas se mantienen constantes fortificando las mezclas con ácidos concentrados y de esta forma se asegura una mayor conversión total del ácido nítrico y tolueno y una mejor conservación del sulfúrico. Estas fortificaciones de ácidos se llevan a cabo en contenedores de premezcla diferentes similares al descrito en el principio.

Especial mención tienen los ácidos gastados en la tercera trinitración ya que pueden contener una cantidad representativa de DNT no nitrado. En este caso

- 10. Empaquetado.** El empaquetado se realizará en bolsas de plástico reforzadas de PE o PP. El tamaño de las bolsas variará entre 1 y 10 kg a petición del cliente.

5.2. Diagrama de proceso



6. Justificación y dimensionamiento de equipos.

6.1. *Equipo principal*

6.1.1. *Silos y contenedores de almacenamiento*

El tamaño de los equipos de almacenaje se ha diseñado de tal forma que puedan producir 6 lotes sin necesidad de suministro alguno. También se han diseñado suponiendo el caso de que todos los lotes se produzcan sin recirculado de ácidos gastados.

Se ha añadido una excepción en el caso de ácido sulfúrico, pues se ha tomado un tamaño de tanque que pueda abastecer la producción de 4 lotes (al ser la materia prima más necesitada, para la producción de 6 lotes el tamaño del contenedor de almacenamiento es demasiado grande):

En cuanto a los materiales de los silos se barajan dos posibilidades:

- Acero inoxidable.
- PRFV (Poliéster Reforzado con Fibra de Vidrio) resistente a la corrosión.

Los volúmenes para las materias primas se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. Volúmenes de silos.

Producto	Volumen contenedor (litros)
Tolueno	5000
Sulfúrico	8000
Nítrico puro	5000
Nítrico 66%	5000
Agua	12000
Disol.	
Sulfito	6000

Esto son 3 contenedores de 5000 litros, 1 contenedor de 6000 litros, 1 contenedor de 8000 litros y 1 contenedor de 12000 litros.



Figura 3. Silo fabricado en PRFV.

Se recomienda, bien sea de acero inoxidable u otro material, hacer uso de productos de serie y no de encargos, ya que estos incrementan el precio de construcción.

Para la automatización de las descargas de los productos desde las tolvas y depósitos se instalarán sobre módulos de pesada PINMOUNT SWC515, de la marca Mettler Toledo. Están diseñados para aplicaciones estáticas y dinámicas donde la carga implica fuerzas horizontales. El módulo PINMOUNT está disponible en capacidades de 7,5 t, 15 t y 22,5 t.



Figura 4. Módulo de pesada marca Mettler.

6.1.2. Contenedores o reactores de dilución (premezcla).

Estos contenedores se utilizarán para preparar las mezclas sulfonítricas que serán luego utilizadas en los nitradores. Al contener ácidos, el material deberá ser inoxidable y el reactor deberá disponer de una camisa refrigerante para disipar el calor generado por la dilución de los ácidos. A su vez, unas palas del mismo material agitarán la mezcla para homogenizar el calor generado.

El volumen de este reactor está calculado según la máxima capacidad de ácidos que tenga que albergar, esto es **1,10 m³**. Con este volumen se asegura la cabida de todas las demás mezclas sulfonítricas por preparar. Se instalarán dos equipos como este.

Las dimensiones no se pueden establecer ya que los suministradores de reactivos trabajan prácticamente bajo pedido, según normativas de construcción de reactores ASME o GMP. Para la obtención de las dimensiones es preciso contactar con los suministradores. En tal caso, no se ha podido. Para obtener una altura aproximada de los equipos (necesario en cálculo de tuberías) se ha contado tantos metros de altura como volumen más 1 metro adicional por las patas y los medidores de pesada.

6.1.3. Nitradores

Los volúmenes de los nitradores se muestran en la tabla 2:

Tabla 2. Volúmenes de nitradores.

Nitrador	volumen (m ³)
1	1,92
2	1,73
3	2,03

En cuanto a las prestaciones de los reactores deberán ser de un material que aguante las condiciones abrasivas de los ácidos, como por ejemplo un acero inoxidable Alloy 20 "carpenter". Deberán disponer de camisa exterior para el enfriamiento y de un serpentín interior para el calentamiento de la mezcla. A su vez dispondrán de agitación, también resistente a la corrosión.

La forma de los nitradores será cilindro-cónica, colocados en vertical sobre patas de acero, situando la forma cónica en la parte inferior. Los reactivos serán introducidos por la parte superior y los productos se evacuarán desde una válvula situada en la parte cónica inferior. De esta manera se realizará mejor la decantación de las fases orgánicas.

Para una decantación de la fase orgánica más efectiva se instalará un sensor de conductividad (figura 5) en la parte inferior de reactor. Al estar en contacto con la disolución ácida permitirá el paso de los ácidos hacia el contenedor de ácidos gastados. Evacuados los ácidos, el sensor entrará en contacto con la fase orgánica, de conductividad prácticamente nula y cerrará el tramo hacia el tanque de ácidos gastados y abrirá (con una válvula rotativa en forma de T) una nueva vía hacia el siguiente nitrador. El sensor es el siguiente:

Sensor inductivo InPro7250 de la marca Mettler Toledo, diseñada para las medidas en línea de los niveles de conductivity/concentration de ácidos, de bases y de sales en medios líquidos. Características:

- Sensor inductivo, no produce chispas ni corrientes en el seno del fluido.
- Revestimiento especial para condiciones abrasivas.
- Fácil instalación y mínima pérdida de carga.



Figura 5. Sensores de inducción InPro.

En el caso de la tercera nitración, al haber unas condiciones tan agresivas, es posible que se formen compuestos gaseosos e inestables (CO, tetranitrometano, etc) que formen con el aire atmósferas explosivas. Por esta razón el tercer nitrador trabajará en condiciones aisladas, haciéndose pasar nitrógeno para eliminar el aire contenido en el reactor.

Las dimensiones no se pueden establecer ya que lo suministradores de reactivos trabajan prácticamente bajo pedido, según normativas de construcción de reactores ASME o GMP. Para la obtención de las dimensiones es preciso contactar con los suministradores. En tal caso, no se ha podido. Para obtener una altura aproximada de los equipos (necesario en cálculo de tuberías) se ha contado tantos metros de altura como volumen más 1 metro adicional por las patas. Un diseño aproximado puede verse en la figura 6.



Figura 6. Reactores marca Maivisa. Puede observarse que vienen con bombas en la parte inferior para la descarga y ruedas para su movimiento.

6.1.4. *Cristalizador y filtro*

Los cristalizadores comerciales pueden operara de forma continua o por cargas, excepto para algunas aplicaciones especiales, es preferible la operación continua. La primera condición que debe de cumplir un cristalizador es crear una solución sobresaturada, ya que la cristalización no se puede producir sin sobresaturación. El medio utilizado para producir la sobresaturación depende esencialmente de la curva de solubilidad del soluto. Algunos solutos como la sal común, tiene solubilidades que son prácticamente independientes de la temperatura, mientras que otros, como el sulfato sódico anhidro y el carbonato sódico monohidratado, poseen curvas de solubilidad invertida y se hacen más solubles a medida que la temperatura disminuye. Para cristalizar estos materiales se precisa crear la sobresaturación mediante evaporación. En los casos intermedios resulta útil la combinación de evaporación y de enfriamiento.

En nuestro se hará uso de cristalizadores de sobresaturación por enfriamiento. El elegido ha sido el cristalizador DEGA ACP con filtro acoplado. Fabricado en acero inoxidable, filtros intercambiables, con capacidades para 2000kg de materia.



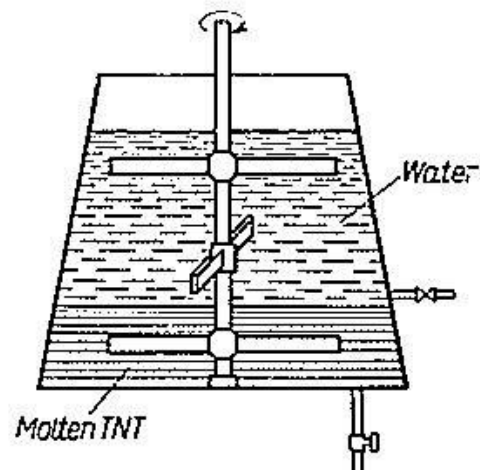
Figura 7. Cristalizador marca DEGA ACP.

6.1.5. Cuba de lavado

La cuba de lavado tendrá un volumen de **2,02 m³**.

El método francés describía este equipo como una cuba de cono truncado, fabricado en madera robusta, con agitadores en el interior. En el presente caso se hará uso de un material de mayor aguante, como pudiera ser el acero inoxidable. Dispondrá de agitación y tendrá la forma aconsejada. También deberá construirse bajo pedido.

Un diseño aproximado puede verse en la figura 8.



Wooden tank for washing TNT (Pascal [5]).

Figura 8. Forma de cuba de lavado según el método francés.

6.1.6. Secador

Un secador se utiliza para quitar la humedad de partículas finas mojadas, abarcando un cilindro inmóvil aislado en el cual se rota un tubo cilíndrico metálico ampliable, coaxial en una posición esencialmente horizontal. Las partículas mojadas se introducen en el extremo abierto mientras que el aire caliente circula entre el cilindro inmóvil y el tubo.

Para el presente proyecto se hará uso de un secador industrial moderno, de acero inoxidable, con las mismas condiciones de proceso. Deberá tener una cabida para toda la masa de TNT a secar. Esto es:

producto	masa (kg)	volumen (m ³)
TNT	1122,38	0,68



Figura 9. Secador industrial.

La marca elegida de secador es NOVATURN, secador centrífugo con capacidad para 1500 kg de producto.

6.1.7. Rodillo de conformado o “drum flaked”.

Secado el TNT y aun en estado líquido, se trasvasará a la cuba del rodillo. El rodillo, sumergido en el producto líquido comienza a girar, arrastrando por rozamiento el producto. El cilindro, enfriado por un sistema de refrigeración interno, hace que el TNT se solidifique en las paredes del cilindro. Al final del recorrido de giro una cuchilla separa el producto a un nuevo contenedor, ya en forma de copo o escama. Tiene las siguientes características:

- El cuerpo del cilindro esta fabricado en acero inoxidable y dispone de una camisa refrigerante exterior.
- Esta diseñado tanto para el uso en continuo como para procesos por lotes.

- La cuchilla separadora está diseñada de forma que al modificar su posición se puede obtener distintos tamaños de partícula.
- Cerrado completamente para no exponer el producto al trabajador.

Se hará uso del producto DZ-1 de la marca SimonDryer.



Figura 10. Rodillo de conformado.

6.1.8. Empaquetadora

Para el proceso de llenado de sacos se hará uso de una llenadora-pesadora EB – 50/N de gran precisión, adaptable a sacos de boca abierta, bolsas, cajas y bidones de 1 a 10 kg. La regulación de la carga se realiza mediante obturador de accionamiento neumático de gran precisión, manejando errores de ± 10 g. El sistema electrónico está gobernado por PLC. Se realizan ejecuciones especiales para zonas antideflagrantes y pueden equiparse con sistemas de cerrado de cajas, sistema totalmente estanco para polvos tóxicos o corrosivos, etc...



Figura 11. Llenadora – pesadora EB – 50/N

El suministro de TNT a la llenadora pesadora realizará desde una tolva colocada en la parte superior de la maquina. La tolva será de aproximadamente 1 m³ de capacidad, fabricada en polímero PVC reforzado. La parte superior estará abierta para la recepción del producto desde un elevador de canjilones. El cono inferior tendrá un Angulo de 45°.



Figura 12. Tolva de adición de sólidos.

Las dimensiones totales del equipo serán de 2100 x 1100 x 3450 mm (con tolva incluida).

6.1.9. Torre de refrigeración

El equipo elegido para enfriar el agua del circuito de refrigeración es una torre de refrigeración abierta **EWK 255** marca **J. Negre C.**

Características:

- Carcasa de poliéster auto-portante
- Internos en materiales plásticos
- Bajo consumo
- Fácil instalación
- Amplia gama desde 4 a 500 m³/h



Figura 13. Torre de refrigeración EWK 255.

Se instalarán dos equipos EWK 225 como el de la figura en el edificio de nitración y uno en el edificio de purificación.

6.2. *Trasportes internos*

6.2.1. *Elevador de canjilones*

Para el transporte del TNT en copos desde la cuba de lavado hasta el secador y del el rodillo de conformado hasta la tolva de la empaquetadora se hará uso de un elevador de canjilones cuyas características son las siguientes:

- Estructura: Robusta construcción de costados, sin mantenimiento, en perfil de acero especial con perforación sistemática. De este modo es posible sujetar todos los accesorios y patas de apoyo en un sitio cualquiera. La mercancía se transporta en el ramal superior de un modo deslizante sobre una base de chapa de acero. En el ramal inferior el transporte tiene lugar de un modo rodante. Las cintas pueden suministrarse en diversas calidades y composiciones de las superficies, según el fin para que se las determine.

El motor propulsor se enchufa directamente sobre el tambor propulsor y se encuentra al costado del transportador. Todos los elementos del transportador corresponden a las reglas válidas de la técnica y a las prescripciones preventivas de accidentes. Estructura modular del transportador, por lo cual es posible una ampliación sencilla.

- Accionamiento: Motor reductor con árbol hueco lateral contra tambor de cinta revestido con goma.
- Equipo adicional:
 - o Calidades especiales de las cintas
 - o Velocidades regulables del transportador
 - o Conexión eléctrica con guarda motor
 - o Cable, enchufe
 - o Pintura de color a elección

Tabla 3. Características elevador de cangilones.

Accionamiento	Motor reductor trifásico 220/380V, 50Hz, IP 54
Cinta	2 capas de tejido de poliéster, cara superior lisa, revestida de PVC, resistente al aceite y la grasa
Velocidad transp.	Estándar 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,8; 1,0 m/s. Volumen de plato de 2 litros.
Pintura	Electrostática de dos capas, RAL 5010



Figura 14. Elevador de cangilones.

6.2.2. Carretilla elevadora

Se hará uso de una carretilla elevadora para transportar el TNT cristalizado desde el edificio de nitración al edificio de purificado en un contenedor, así como para trasportar los palés con el TNT ya empaquetado a la zona de almacén.

- Características:

- 1)** Buena estabilidad, sistema de frenado activado hidráulicamente, respuesta rápida y alta sensibilidad.
- 2)** Mástil con amplia visibilidad y espacio entre dientes ajustable hacen que la operación sea más fácil y flexible.
- 3)** Diseño aerodinámico amplía el espacio de operación y reduce el cansancio del operador.
- 4)** Sistema de entrada de aire elevado previene de la entrada de polvos. El filtro de aire secundario mejora la calidad del aire succionado y prolonga la vida del motor.
- 5)** El aceite en el sistema hidráulico es proporcionado por una bomba doble y una bomba simple que hace que el sistema sea más estable y confiable.
- 6)** Las ruedas frontales dobles mejoran la seguridad al viajar.
- 7)** Transmisión hidráulica con nuevo diseño con par de torsión amplio y alta confiabilidad.
- 8)** Motor Chaochai 6102 de muy alta potencia.
- 9)** El cilindro es montado transversalmente al eje de dirección, de esta forma el ángulo de giro es más amplio y el radio de giro es más pequeño.

Tabla 4. Características de la carretilla elevadora.

Tipo de motor	Motor diesel
Índice de carga (kg)	10000
Centro de carga (mm)	600
Altura máx. de alzado (mm)	3000
Altura de alzado libre (mm)	100
Dimensiones de la horca (mm)	1200×175×80
Ángulo de inclinación del mástil (grados)	6/12
Radio de giro mín. (mm)	4000
Ancho de intersección mín. (mm)	3540
Velocidad de transportación máx. (carga completa/sin carga) (Km/h)	25/27
Velocidad de alzado máx. (carga completa/sin carga) (mm/s)	310/350
Gradeabilidad máx. (%)	20
Sobresalientes frontales (mm)	720
Sobresalientes traseros (mm)	780
Peso de la máquina (kg)	12000
Ancho de la banda de rodamiento (frontal/trasera)	1600/1700
Distancia entre ejes (mm)	2800
Dimensiones generales	
Longitud general (con horca) (mm)	5500
Ancho general (mm)	2240
Altura (Mástil levantado) (mm)	2850
Altura del soporte de seguridad (mm)	2600
Distancia a tierra mín.	
Mástil (mm)	240
Estructura (mm)	300



Figura 15. Carretilla elevadora marca CAT.

6.3. *Tuberías y bombas*

6.3.1. *Tipo de tubería empleada*

- Tubería de Acero Inoxidable: Es el material idóneo para el transporte de sustancias ácidas, debido a su higiene, sus buenas propiedades ante la corrosión y sus propiedades mecánicas.

Se recomienda usar, pues, cualquier acero de la serie AISI 300 o AISI 400. En cuanto al espesor se tomará el *Extra Strong*. Los tamaños y diámetros están normalizados.

6.3.2. *Diámetro de las tuberías y accesorios*

En cuanto al transporte de los fluidos por las tuberías se ha considerado que las velocidades de las sustancias inflamables, corrosivas y explosivas no superen velocidades de 2 m/s, situándolas entre 1 y 2. Para líquidos acuosos y agua las velocidades recomendadas de transporte son de 1 – 3 m/s. Para todos los efectos y casos se ha tomado una velocidad inicial de cálculo de **1,5 m/s**, asegurándonos con este valor rangos seguros de transporte y de eficiencia energética.

Sabiendo las materias primas salientes y entrantes de cada reactor (o contenedor) y estableciendo un tiempo de llenado y descarga de **15 minutos**, se ha calculado el caudal circulante por cada tubería con ayuda de la formula antes mencionada.

Obtenidos los diámetros óptimos de tubería se garantiza el suministro del caudal requerido. No obstante las tuberías con los diámetros obtenidos, en el caso de pedirlos a una empresa por encargo, resultarían demasiado costosas. Por esta razón se compararán los diámetros obtenidos con los normalizados y que generalmente son suministrados por los comerciales. Los diámetros comerciales elegidos se muestran en la tabla 5:

Tabla 5. Diámetro de tuberías.

Recorrido	D (m)	D (")	D comercial (")	v final (m/s)
Máximo silo sulfúrico	0,024	0,95	1,00	1,36
Máximo silo nítrico 66%	0,022	0,86	1,00	1,11
Máximo silo nítrico puro	0,016	0,62	0,75	1,02
Máximo agua	0,033	1,29	1,50	1,12
Máximo disol. Sulfito	0,033	1,29	1,50	1,12
Máximo silo tolueno	0,027	1,05	1,25	1,05
Máximo contenedor premezcla	0,030	1,19	1,25	1,36
Regreso ácidos gastados N1	0,027	1,07	1,25	1,10
Regreso ácidos gastados N2	0,025	0,97	1,00	1,42
Regreso ácidos gastados N3	0,030	1,20	1,25	1,38
N1 --> N2 (MNT)	0,027	1,06	1,25	1,07
N2 --> N3 (DNT)	0,026	1,04	1,25	1,04
N3 --> cristalizador (TNT)	0,026	1,02	1,25	1,00
Secador --> rodillo	0,025	0,996	1,00	1,49

Obtenidos los diámetros comerciales se ha procedido al cálculo de la velocidad resultante, manteniendo el caudal constante, para verificar que ninguna de las velocidades supera los valores deseados.

Tabla 6. Número de accesorios en tuberías.

Recorrido	codos	tes
Tolueno --> N1	2	0
Sulfúrico --> diluidor	2	1
Nítrico --> diluidor	2	1
Nítrico 66 --> diluidor	1	1
diluidor --> N1		
Diluidor --> N2	3	2
Diluidor --> N3		
N1 --> N2	2	0
N2 --> N3	2	0
N3 --> cristalizador	2	0
Secador --> rodillo	2	0
Regreso de ácidos gastados	2	0

El número de codos y tes deriva de un diseño de plano de tubería preliminar que da un número aproximado de accesorios.

6.3.3. Bombas

Atendiendo a los balances de materia, de donde se obtienen las densidades y los caudales, y a la altura a la que se necesita impulsar el fluido, se obtiene la siguiente tabla de requerimientos energéticos:

Tabla 7. Potencia de las bombas según el recorrido.

Recorrido	Potencia	
	requerida (m)	Potencia (W)
Tolueno --> N1	4,01	28,35
Sulfúrico --> diluidor	185,71	2311,07
Nítrico --> diluidor	2,73	11,75
Nítrico 66 --> diluidor	2,57	18,93
diluidor --> N1, N2, N3	6,91	118,85
Secador --> rodillo	2,24	27,37
Regreso ácidos gastados N1	4,12	58,42
Regreso ácidos gastados N2	7,12	82,89
Regreso ácidos gastados N3	6,23	118,13

Para transportar el fluido por las tuberías se emplearán bombas centrífugas, ya que son las más adecuadas para este tipo de trabajo.

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos alabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia las tuberías de salida o hacia el siguiente rodete (siguiente etapa).

Aunque la fuerza centrífuga producida depende tanto de la velocidad en la periferia del impulsor como de la densidad del líquido, la energía que se aplica por unidad de masa del líquido es independiente de la densidad del líquido. Por tanto, en una bomba dada que funcione a cierta velocidad y que maneje un volumen definido de líquido, la energía que se aplica y transfiere al líquido, (en Pascales, Pa, metros de columna de agua m.c.a. o pie-lb/lb de líquido) es la misma para cualquier líquido sin que importe su densidad. Tradicionalmente la presión proporcionada por la bomba en metros de columna de agua o pie-lb/lb se expresa en metros o en pies y por ello que se denomina genéricamente como "altura", y aun más, porque las primeras bombas se dedicaban a subir agua de los pozos desde una cierta profundidad (o altura).

Las bombas centrífugas tienen un uso muy extendido en la industria ya que son adecuadas casi para cualquier uso. Las más comunes son las que están construidas bajo normativa DIN 24255 (en formas e hidráulica) con un único rodete, que abarcan capacidades hasta los 500 m³/h y alturas manométricas hasta los 100 metros con motores eléctricos de velocidad normalizada. Estas bombas se suelen montar horizontales, pero también pueden estar verticales y para alcanzar mayores alturas se fabrican disponiendo varios rodetes sucesivos en un mismo cuerpo de bomba. De esta forma se acumulan las presiones parciales que ofrecen cada uno de ellos. En este caso se habla de bomba multifásica o multietapa, pudiéndose lograr de este modo alturas del orden de los 1200 metros para sistemas de alimentación de calderas.

Constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para mover más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

Para los tramos de tubería que necesitan una potencia menor a 60 W (mirar tabla 7), utilizaremos la bomba centrífuga marca **Salmson** monofásica que opera a una potencia de **60 W**.

Características.

- Construida con el cuerpo en hierro fundido.
- Impulsor en noryl.
- Eje en acero inoxidable.
- Sello mecánico simple.
- Provisto con motor eléctrico de 0,25 HP -220 V-50 Hz - 2900 rpm – IP 54.

En total harán falta 5 bombas de este tipo.



Figura 16. Bomba Salmson de 60W.

Para los tramos con mayor demanda de potencia se hará uso de bomba centrífuga marca Motorarg monofásica. Características:

- Impulsor de bronce.
- Eje y rodete en acero inoxidable.
- Máxima estanqueidad.
- Porta sello y eje de acero inoxidable.
- Potencia de hasta 150 W para diversos DN.

- Motor eléctrico monofásico de 0,5 HP - 220 V - 50 HZ - 2900 rpm - IP 68.



Figura 17. Bomba Motorarg de 150W.

Para el caso especial, los caudales de ácido sulfúrico desde el silo hasta el contenedor de premezcla, se hará uso de una bomba diseñada para caudales altamente viscosos. La bomba Salmson Type R tiene las siguientes características:

- Cuerpo, eje y rodets fabricados en acero inoxidable.
- Caudales de hasta 350 m³/h.
- Puede trabajar con viscosidades de hasta 200.000 cP.
- Alta impermeabilidad.



Figura 18. Bomba para fluidos viscosos.

6.4. Lazos de control.

Los lazos de control feedback o de retroalimentación se basan en la captura de información sobre una variable para actuar sobre un elemento “aguas arriba” que modifica un parámetro con el objetivo de llevar la variable a un rango de valores establecidos, o set-point.

En el presente proyecto no se estudiará que tipo de controlador se instalará (P,PI,PID,...), ni se calcularán los parámetros de control (banda proporcional, acción integradora,...) simplemente se señalarán los procesos y situaciones donde conviene instalar los lazos.

Algunos de los lazos son los siguientes:

- **Lazo de control en el contenedor de premezcla.**

La dilución del ácido sulfúrico y del nítrico puro para la preparación de las mezclas sulfonítricas resulta un proceso muy exotérmico en la que hay que evacuar una gran cantidad de calor. No obstante, este gran calor generado puede también ayudarnos a conseguir la temperatura necesaria en la mezcla para su posterior adición en la nitración.

Para obtener la temperatura necesaria se dispondrá de un sensor de temperatura en el contenedor de premezcla, conectado a una válvula de control a la tubería de suministro de ácido sulfúrico (figura 19), ya que este caudal será el que más calor genere. El set point se variará según la mezcla nitrante a preparar, ya sea desde el mismo controlador del dispositivo o desde la sala de control. En cualquier caso se introducirá manualmente.

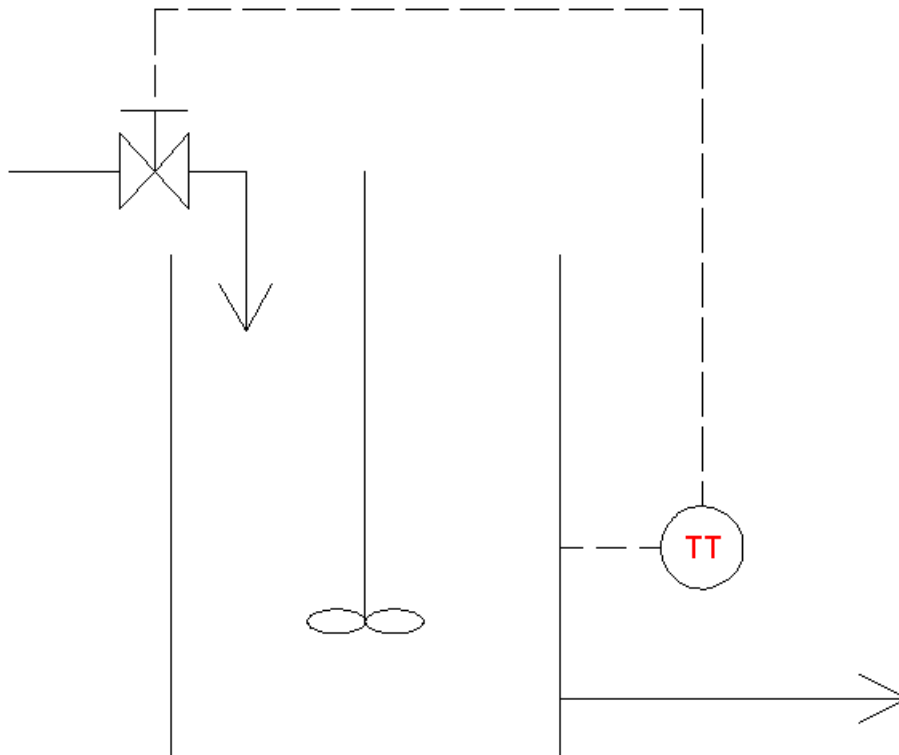


Figura 19. Lazo de control en contenedor de mezcla.

Manteniendo un caudal constante de agua de refrigeración y de ácido nítrico, la temperatura se controlará por medio del caudal de ácido sulfúrico.

- **Lazo de control en los nitradores.**

Puesto que las nitraciones son reacciones exotérmicas se establecerá un lazo de control similar al instalado en el contenedor de mezcla, representado en la figura 20. Al trabajar en un reactor discontinuo no se puede actuar sobre las corrientes de reactivos, ya que estos ya están introducidos, por esta razón se actuará directamente sobre la corriente de refrigeración. Con esto se pretende homogenizar la temperatura dentro del reactor y evitar posibles picos en zonas concretas.

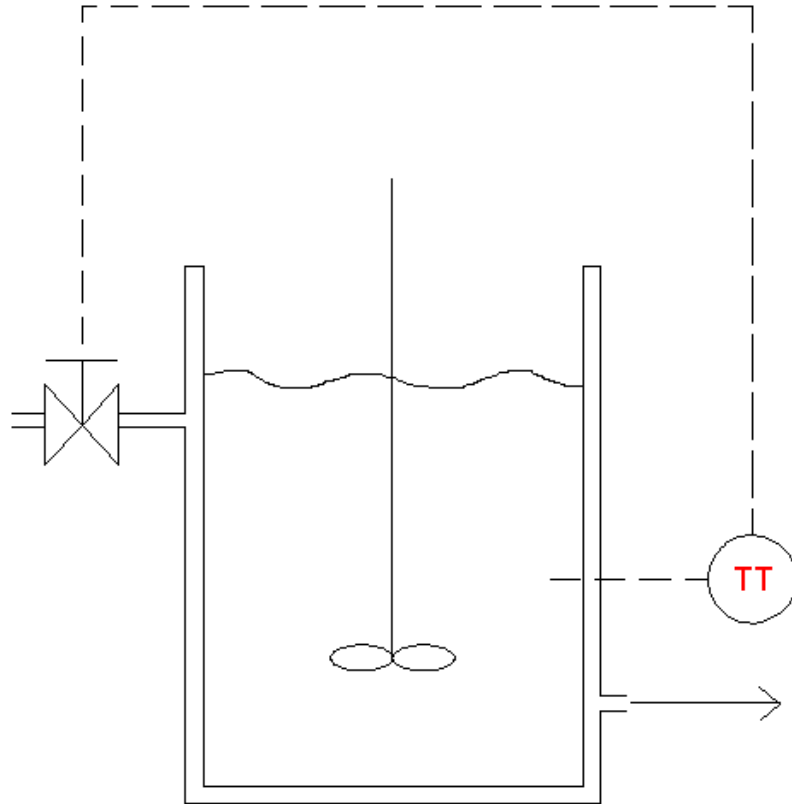


Figura 20. Lazo de control en la camisa del nitrador.

Las válvulas de control elegidas para estos dos procesos son válvulas de mariposa de la marca Compás S.L., de acero inoxidable y que ofrecen baja pérdida de carga:



Figura 21. Válvulas de mariposa para el control de caudales.

7. Régimen de fabricación

Con el fin de poder cubrir la demanda solicitada, y poder amortiguar posibles fluctuaciones de esta, el régimen de funcionamiento de la planta será:

- 22 días mensuales, modificables si la demanda es muy elevada.
- Turnos de 8 horas.
- El número de turnos diario dependerá de la sección de trabajo:
 - o En el edificio de nitración se establecerán 2 turnos. Esto incluye: salas de nitración, control y trasportes internos.
 - o En el edificio de purificación y empaquetamiento 2 turnos. Incluye operaciones de lavado, secado, conformado y empaquetado.
 - o En el almacén se establecerán 2 turnos, encargados del transporte, almacenaje y carga del producto en los camiones de recogida.
 - o En el edificio reservado para las oficinas y laboratorio se establecerá 1 turno para las labores administrativas y 2 turnos para el laboratorio de calidad.
 - o Se contratará una empresa de limpieza especial que realizará 2 turnos de limpieza, por la mañana y por la tarde.
 - o La empresa contratada a cargo de la seguridad y vigilancia realizará 3 turnos, cubriendo así las 24 horas del día.

7.1. ***Personal empleado***

Horario de oficinas y atención al público:

- El horario de oficinas será de lunes a jueves de 8:00 a 13:00 y de 14:00 a 18:00 y los viernes de 9:00 a 13:00.

- Servicio de limpieza:
 - o Este servicio será subcontratado a una empresa de limpiezas y constará de 2 turnos al día, de lunes a viernes, a realizar en turnos de 6:00 a 14:00 y de 15:00 a 23:00.

7.2. Personal en planta de producción

En la planta de producción, el personal requerido se explicará edificio por edificio.

- Edificio de nitración: Se dispondrá de un encargado/a por turno, es decir, dos encargados en total. Este controlará el proceso y guiará los productos y reactivos desde una sala de control. A su vez por cada turno habrá un operario de mantenimiento que asegure un correcto funcionamiento de la maquinaria (reactores, tanques de premezcla, cristalizador y filtro).
- Edificio de purificación: Se dispondrá de 1 encargado/a de zona y 1 operario de mantenimiento del equipo (cuba de lavado, secador, tambor de conformado, elevador de cangilones y empaquetadora).
- Almacén: 1 encargado/a de almacén cuya función será hacer el recuento de las materias primas que entran y registrar los productos que salen del almacén, así como encargarse de adecuar la sala para el almacenamiento del TNT. Contará con la ayuda de 1 almacenero y una carretilla elevadora que distribuirá los palés y ayudará a cargar los camiones que transporten la mercancía.
- Transportes internos: 1 conductor de carretilla elevadora ayudará a trasvasar el TNT cristalizado desde el edificio de nitración hasta el edificio de purificación. Purificado el TNT, llevará la mercancía al almacén. También colaborará con las tareas de carga y descarga en los muelles y en el almacén.
- Vigilancia: se dispondrá siempre de un guardia de seguridad en el almacén y otro en la entrada de la parcela. A 3 turnos por día, esto es un total de 6 guardias de seguridad. También deberá establecerse rutinas de seguridad y vigilancia durante los fines de semana.

- Control de calidad: 1 técnico de laboratorio por turno se encargará de certificar la calidad del producto y supervisar los procesos en los que se requiera un seguimiento especial. El laboratorio se situará en los sótanos del edificio de oficinas.
- Todos los trabajadores mencionados anteriormente serán dirigidos por un jefe de producción que supervisará el trabajo de los subordinados.

En resumen, el número de trabajadores que se habrá de disponer en la planta de producción es:

Tabla 8. Trabajadores en planta.

Tipo trabajador	Cantidad
Encargado/a edificio nitradores	2
Encargado/a almacén	1
Encargado/a purificación	2
Jefe/a producción	1
Operarios de mantenimiento	1
Guardia seguridad	6
Almaceneros	2
Conductores carretillas elevadoras	2
Operarios de laboratorio	2

7.3. Oficinas

- Instalaremos un total de 3 despachos con 1 oficinista cada uno, para atender los pedidos y preguntas de nuestros clientes.
- Además se necesitará de un comercial que se encarguen del marketing y del estudio de mercado a la hora de vender el producto.
- Se dispondrá de un técnico/a informático que se encargará del correcto funcionamiento de los ordenadores.
- También hace falta 1 abogado/a en caso de que se reciba alguna denuncia por parte de algún cliente insatisfecho o accidente.
- Luego está el jefe/a de la empresa, que es el que manda a todos y toma decisiones.
- Los despachos de la oficina serán limpiados por el personal de limpieza, que constará de 3 empleados/as.

En número de trabajadores es mostrado en la tabla 9:

Tabla 9. Trabajadores en el edificio de oficinas.

Tipo trabajador	Cantidad
Oficinista	3
Comercial	1
Técnico/a informático	1
Abogado	1
Jefe/a empresa	1
Personal limpieza	3

8. Fuentes de información

- Libros
 - [1] Chemistry and technology of explosives Vol I, Tadeusz Urbanski, Department of Technology, Politechnika Warszawa, 1964.
 - [2] Química de los explosivos, Eduardo Ezama Sancho, Madrid, 1946.
 - [3] Enciclopedia Ullmann's de ingeniería química, sexta edición, 1998.
 - [4] Casos prácticos de análisis de riesgo (en establecimientos afectados de nivel inferior, en el ámbito del Real Decreto 1254/1999 [Seveso II], Jose Ruiz Gimeno, departamento de ingeniería química, Universidad de Murcia, 2005.
 - [5] Vollhardt - Química Orgánica. 3ªEd, C. Vollhardt, 2000.
- Conversaciones mantenidas con expertos en el tema
 - [6] José A. Sanchidrián, catedrático en la Universidad Politécnica de Madrid, ETSI Minas.
 - [7] Fernando Lozano Romero, delegado de Maxam, productora de explosivos a nivel mundial.
 - [8] Javier Cercera, Área de Industria de la Delegación del Gobierno de España.
 - [9] Carlos Paz, encargado de la planta de producción de ANFO, en Candasnos, Zaragoza. Empresa propietaria ORICA.
 - [10] Alejandro Cirio, operario en la planta de ANFO de Candasnos antes mencionada.
- Enlaces de Internet
 - [11] www.wikipedia.org Información variada.
 - [12] www.textoscientificos.com/cristalizadores Información relativa en cuanto a cristalizadores.

- [13] <http://petrochemical.gronerth.com/design/interesantes.htm>
Cálculos de algunas propiedades de líquidos.
- [14] www.alción.es Listado de empresas que suministran equipos industriales.
- [15] <http://webbook.nist.gov/chemistry/> Libro Web de Química del NIST.