



Universidad Jaume I

**Escuela Superior de Tecnología i Ciencias
Experimentales**

Grado en Ingeniería Química

Diseño del Sistema de Reacción de una Planta de Producción de Nitrato Amónico

Trabajo Fin de Grado

Autor

José Gil Martínez Madrid

Tutora

Ana Gozalbo Nebot

Castellón, julio de 2019

Este proyecto se lo dedico a las personas que me han acompañado a lo largo del camino.

A mis padres José Gil e Inocencia por hacer de mi la persona que soy ahora. Me habéis guiado en esta vida. Gracias por dármelo todo.

A mi hermano Juan por estar a mi lado en los buenos y en los malos momentos, para compartir risas y para apoyarme y comprenderme. Por ser mi otra mitad.

A mi Noelia por estar a mi lado y darme su apoyo en los momentos más difíciles.

A mi compañero de aventuras inseparable Andrés. Estos 4 años de carrera han hecho de nosotros un dúo difícil de batir. Volveremos a vernos.

“El éxito no es definitivo, el fracaso no es fatídico. Lo que cuenta es el valor para continuar”.

Winston L. S. Churchill

A Juan

0. RESUMEN

La utilización de fertilizantes nitrogenados permite un desarrollo sostenible de la población mundial derivado de una mayor eficiencia de los suelos agrícolas.

El nitrato amónico es la principal fuente de nitrógeno para la agricultura, por lo que es uno de los productos esenciales en la industria de los fertilizantes.

El nitrato amónico se produce exclusivamente por reacción entre amoníaco gas y ácido nítrico en disolución: El amoníaco se obtiene por el proceso Haber Bosch, y el ácido nítrico se fabrica por oxidación del amoníaco, con una concentración entre el 50 y 70 %.

El nitrato amónico se utiliza, bien directamente como sólido granulado (NA), bien mezclado con carbonato cálcico para obtener Nitrato Amónico Cálcico (NAC) granulado, que es el fertilizante más consumido en todo el mundo.

El proceso de producción del nitrato amónico comprende tres etapas: Neutralización (reacción entre ácido nítrico y amoníaco), Evaporación (concentración de la disolución de nitrato amónico) y Solidificación (procesos de granulado).

En este proyecto se va a diseñar el sistema de reacción de una planta de producción de nitrato amónico, para obtener una producción de 1.033 t/día, partiendo de ácido nítrico al 60 % en peso y de amoníaco gaseoso como materias primas.

El sistema de reacción comprende el reactor (neutralizador) propiamente dicho y un sistema de intercambio de calor (caldera), que sirve para refrigerar la mezcla reactante y producir vapor de alta presión. Tras la caldera, un concentrador elimina parte del agua de la solución de nitrato amónico alcanzando un 76 % en peso.

Mediante balances de materia y energía en el reactor, la caldera y el concentrador, se logra dimensionar los equipos citados, aprovechando íntegramente la energía de la reacción química para generar vapor limpio y concentrar la solución producto.

Por último, se efectuará un análisis de la rentabilidad del proyecto, teniendo en cuenta la inversión necesaria, así como los ingresos y costes de operación de la planta.

1. ÍNDICE GENERAL

0. Resumen
1. Índice General
2. Memoria
3. Anexos
4. Planos
5. Pliego de Condiciones
6. Estado de Mediciones y Presupuesto

2. MEMORIA

0. Índice

0. Índice	3
1. Objeto	5
2. Justificación	6
3. Alcance	7
4. Antecedentes.....	8
4.1 Historia y evolución de los fertilizantes	8
4.2 Síntesis de amoniaco por el proceso de Häber-Bosch	10
4.3 Proceso de fabricación de ácido nítrico	12
4.4 El nitrato amónico como fertilizante.....	15
4.5 Usos del Nitrato Amónico	17
4.6 Procesos químicos de fabricación del nitrato amónico.....	18
5. Normas y referencias.	21
5.1 Disposiciones legales y normativas aplicables	21
5.2 Referencias.....	22
6. Definiciones y abreviaturas.	27
6.1 Abreviaturas del proyecto	27
6.2 Sistema de unidades y numeración	30
6.3 Definiciones	31
7. Requisitos de diseño	33
8. Análisis de soluciones	34
8.1 Sistemas de producción de nitrato amónico	34
8.2 Solución adoptada.....	38
9. Resultados finales	43
9.1 Esquema de flujo y corrientes principales	43
9.2 Sistemas de Control de Proceso y Seguridades	46

9.3	Reactor y caldera	54
9.4	Conducciones y accesorios	57
9.5	Ubicación	61
10.	Planificación	63
11.	Orden de prioridad entre los documentos básicos	68
12.	Estudio de viabilidad económica	69
12.1	Inversión Inicial	69
12.2	Bases de cálculo para la estimación de la viabilidad económica.....	70
12.3	Gasto anual estimado	71
12.4	Ingresos anuales estimados	72
12.5	Cálculo de la rentabilidad del proyecto	72

1. Objeto

El objeto del presente proyecto es el de diseñar una instalación para la producción de nitrato amónico mediante un sistema de reacción donde se producirá la neutralización de ácido nítrico acuoso con amoniaco gas.

Para ello se emplean las materias primas de ácido nítrico y amoniaco gas. Se introducen a un reactor, posteriormente pasan por una caldera, donde la disolución cede calor en los tubos para producir vapor de agua en la coraza y el resto de la energía liberada se emplea en el concentrador, donde se aumenta la concentración de la mezcla hasta el valor deseado.

El nitrato amónico producido tiene un valor añadido respecto de las materias primas de partida. Éste constituye la base para formar el Nitrato Amónico Cálcico, o NAC; fertilizante más consumido a nivel mundial.

El sistema incluirá todos los elementos y equipos necesarios para el correcto funcionamiento del mismo.

La instalación se ubicará en las instalaciones de Fertiberia S.A. del municipio de Sagunto.

2. Justificación

La justificación del presente proyecto surge de la necesidad de realizar un proyecto de carácter profesional, ligado al ámbito laboral habitual de un graduado en Ingeniería Química.

A raíz de la estancia en prácticas en Fertiberia S.A., en el municipio de Sagunto, con motivo de la asignatura EQ1034 Prácticas Externas y EQ1044 Trabajo de Final de Grado, se ha decidido llevar a cabo el diseño del sistema de reacción de una planta de producción de nitrato amónico.

3. Alcance

En el presente proyecto se va a diseñar el sistema de reacción de una planta de producción de Nitrato Amónico de media presión para obtener una producción de 1.033 t/día, obteniendo un producto con una concentración del 76 % en peso de Nitrato Amónico.

Para ello, se dispone como materias primas de Ácido Nítrico al 60 % en peso y 115 °C y de Amoniaco gaseoso a 90 °C.

Por tanto, el alcance del proyecto será:

- El diseño del reactor y el sistema de intercambio de calor para la producción de vapor de alta presión (caldera).
- Efectuar los balances de materia y energía al sistema separador, asegurando la separación de agua de la mezcla necesaria, aprovechando la energía liberada en la reacción química.
- Diseño resistente y dimensionamiento de los equipos más importantes que componen la planta y las conducciones y accesorios que los interconectan, a excepción de algunas conducciones y accesorios que se diseñan de forma cualitativa exclusivamente teniendo en cuenta el caudal de paso:
 - Conducciones y accesorios que interconectan el tambor de vapor con la caldera
 - Conducciones de entrada de ácido nítrico y amoniaco
 - Conducción de salida de la producción de nitrato amónico
 - Conducciones de salida del vapor producido en el concentrador
 - Conducciones de entrada de líquido y salida de vapor del tambor de vapor
- Realizar un estudio económico que incluya los costes de construcción y funcionamiento de la instalación. Como la planta se ubica en la empresa de Fertiberia S.A del Puerto de Sagunto no se ha tenido en cuenta en el siguiente proyecto la obra civil ni las soportaciones.
- Enumerar y detallar los sistemas de control y seguridades de la planta para el buen funcionamiento de la planta; aunque no se procede a su diseño y selección exhaustiva.

4. Antecedentes

4.1 Historia y evolución de los fertilizantes

Los fertilizantes se desarrollaron desde la antigüedad por la necesidad del hombre de que las plantas crecieran a mayor ritmo y se obtuvieran mejores cosechas, lo que permitía que la población fuese en aumento. En las primeras civilizaciones se utilizaron como fertilizantes, algunos restos naturales tales los excrementos de animales, entre las que destacan las aves marinas: es el caso del guano (*Figura 4.1*) o Nitrato de Chile. También se usaron como fertilizante los huesos molidos procedentes de mataderos. Durante milenios la humanidad utilizó estas fuentes de fertilizantes para aumentar el rendimiento de las cosechas de diversos cultivos y así aumentar la población. Los nutrientes que aportaban estos fertilizantes naturales eran poco concentrados y los rendimientos de las cosechas eran limitados.[1]

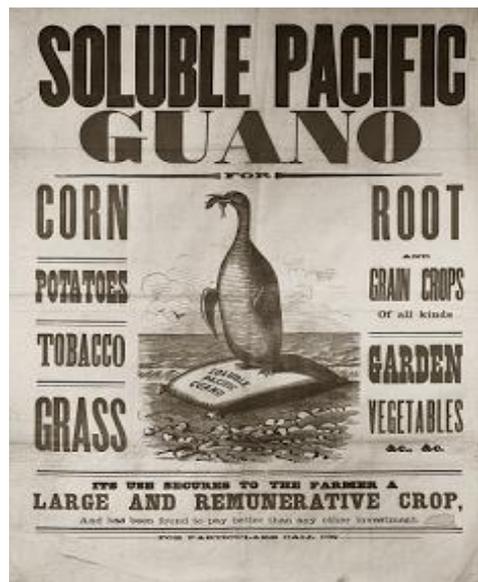


Figura 4.1 Cartel de promoción del guano

Al principio del siglo XX el incremento de la población en los países más desarrollados hizo que la utilización de este tipo de fertilizantes se quedase muy escasa para la cantidad de comida que se empezaba a demandar. Esto, junto a los avances tecnológicos de la época, favoreció el desarrollo de diversos procesos químicos para la obtención de fertilizantes sintéticos, de los que el más importante descubierto en esa época es el proceso de Haber-Bosch de fabricación de amoníaco, que dio lugar a la aparición de toda una industria de fertilizantes basados en el amoníaco, que aún en nuestros días sigue siendo la más importante del mundo.

Sin estos fertilizantes químicos procedentes del amoniaco obtenido por el proceso de Haber-Bosch las cosechas no podrían proporcionar comida para más de 7.500 millones de personas que habitan el planeta hoy en día, estimándose en poco más de la mitad la cantidad máxima que podría habitar el planeta sin la comida conseguida gracias a los fertilizantes procedentes del proceso de Haber-Bosch. Este hecho se ilustra en la *Figura 4.2*.

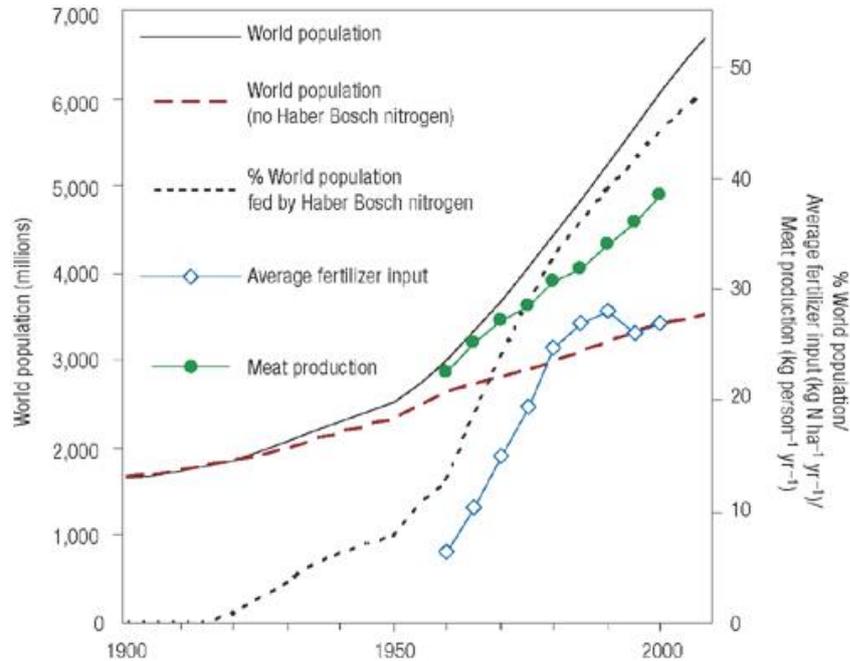


Figura 4.2 Comparativa de población mundial con los años

Para conocer el porqué de lo anteriormente expuesto, se requiere explicar que las plantas para crecer necesitan principalmente Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, que obtienen mediante la fotosíntesis del CO_2 atmosférico y del H_2O que absorben por las raíces. Pero tras estos nutrientes principales también necesitan otros elementos en menor cantidad, entre los que destaca el Nitrógeno. El Nitrógeno se encuentra presente en la atmósfera en forma de molécula de N_2 , que cuenta con un triple enlace entre los dos átomos de Nitrógeno. Ello supone una gran cantidad de energía necesaria para romper el enlace, por lo que el Nitrógeno no es directamente asimilable por las plantas en esta forma. De hecho, las plantas solo absorben el Nitrógeno que se encuentra en forma de ión nitrato (NO_3^-) disuelto en el agua que les llega a través de las raíces.

Así, las plantas de forma natural cuentan con una serie de bacterias nitrificantes en sus raíces (*Figura 4.3*) que van convirtiendo otras formas de nitrógeno (N_2 , NH_3 , etc.) en Nitrato. Por desgracia este proceso natural de asimilación de Nitrógeno es muy lento,

y la asimilación del nitrógeno es, en la mayoría de los casos, el factor limitante para el crecimiento de las plantas. Esto es crítico cuando se trata de obtener cosechas a nivel intensivo. Por ello la humanidad ha desarrollado varios procesos industriales para fabricar fertilizantes nitrogenados a partir del N_2 atmosférico, procesos que comienzan con la síntesis de amoniaco por el proceso de Häber-Bosch.



Figura 4.3 Cúmulo de bacterias nitrificantes en una raíz

4.2 Síntesis de amoniaco por el proceso de Häber-Bosch

El proceso de Häber-Bosch (Figura 4.4) utiliza como materia prima el Gas Natural (CH_4) y el vapor de agua (H_2O) como fuente de Hidrógeno, y el aire atmosférico como fuente de Nitrógeno (N_2), para obtener Amoniaco (NH_3).

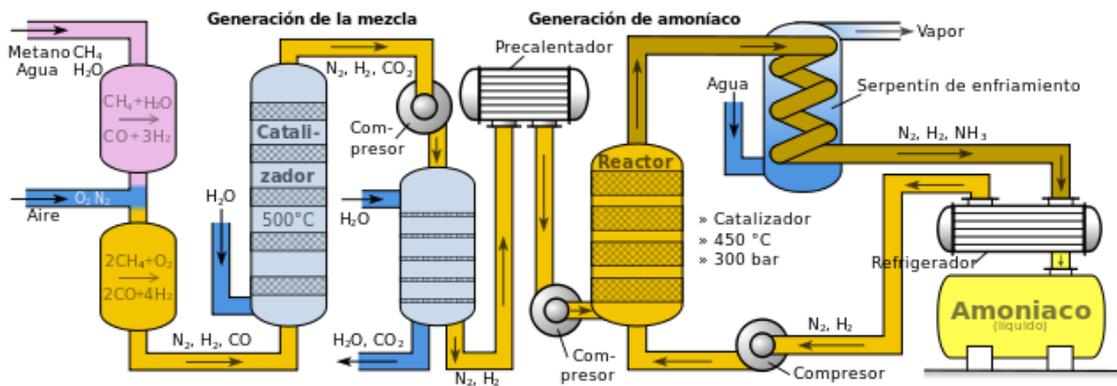
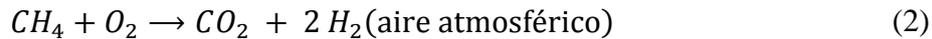


Figura 4.4 Esquema general del proceso de Häber-Bosch

El proceso tiene lugar en varias etapas. En la primera el Gas Natural sufre un proceso de reformado con aire y con vapor de agua, de acuerdo con las reacciones (Ecuaciones 1 y 2):





Donde se produce ya un Hidrógeno, y se incorpora el Nitrógeno del aire al proceso, que en esta etapa no reacciona. El reformado es fuertemente endotérmico, por lo que una parte del Gas Natural consumido en la planta se quema en una caldera para generar el calor necesario para las reacciones, las cuales tienen lugar en el interior de los tubos del reformador situados en el interior de la caldera de combustión del Gas Natural.

En la segunda etapa se elimina el CO_2 producido en el reformador por absorción en torres de absorción a presión con una solución alcalina de hidróxidos sódico ó potásico, que está en circuito cerrado con otra torre de desorción donde se libera el CO_2 al calentar y bajar la presión. La solución alcalina se recircula a la torre de absorción nuevamente.

La tercera etapa es realmente donde se produce el Amoniaco por reacción del Hidrógeno formado en la etapa de reformado, con el Nitrógeno aportado también en dicha etapa (*Ecuación3*):



Esta reacción tiene lugar a altas Presiones y es fuertemente endotérmica, por lo que se necesita quemar también una parte del Gas Natural de la Planta para suministrar la energía necesaria para la reacción. Se han desarrollado varios catalizadores para acelerar esta reacción, pero los mejores rendimientos no alcanzan una conversión del 30 % de los reactivos, por lo que el Amoniaco formado se extrae de la corriente de salida del catalizador por bajada de la temperatura (se vuelve líquido), recirculando los reactivos no reaccionados de nuevo a la alimentación al catalizador. Por ello a esta etapa se le denomina Loop de Síntesis.

El Amoniaco formado en estado líquido se almacena en tanques atmosféricos a -33 °C, y se expide en barcos hacia las plantas consumidoras, entre las que se encuentra la de producción de ácido nítrico, donde el nitrógeno se convertirá ya en la forma asimilable por las plantas.

Hoy en día más del 99 % del Nitrógeno usado como fertilizante en todo el mundo procede del proceso Haber-Bosch, como puede verse en la *Figura 4.5*.

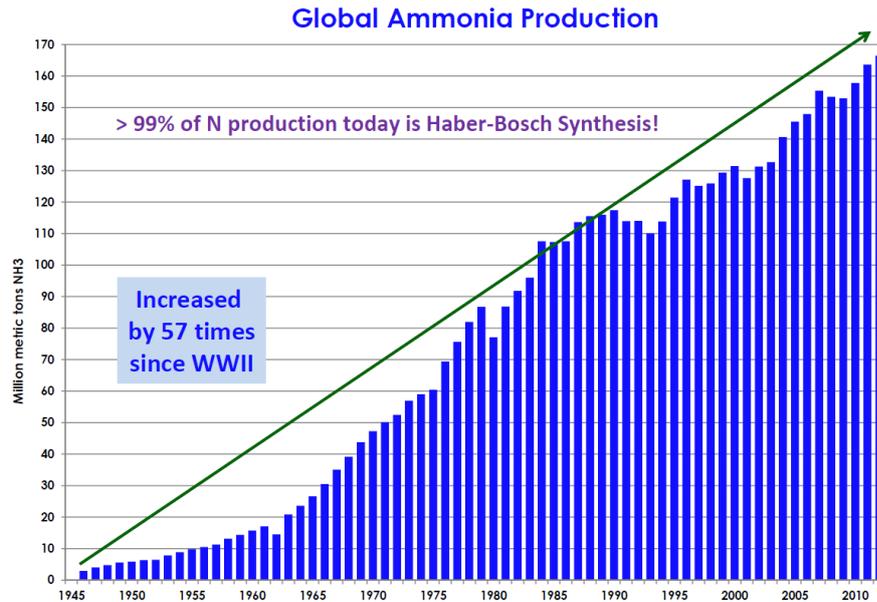


Figura 4.5 Producción global de amoniaco

4.3 Proceso de fabricación de ácido nítrico

Tras haber fijado el Nitrógeno atmosférico en una forma más utilizable como es el Amoniaco, el siguiente paso es convertir ese Nitrógeno Amoniacal en Nitrógeno Nítrico, en una planta de fabricación de ácido Nítrico.

En las Plantas de Ácido Nítrico, las materias primas son el Amoniaco y el Oxígeno atmosférico. Se obtiene como productos Ácido Nítrico, Agua y, en los procesos más modernos de producción, Energía Eléctrica. En la *Figura 4.6* se muestra la estequiometría global de las reacciones de la planta.

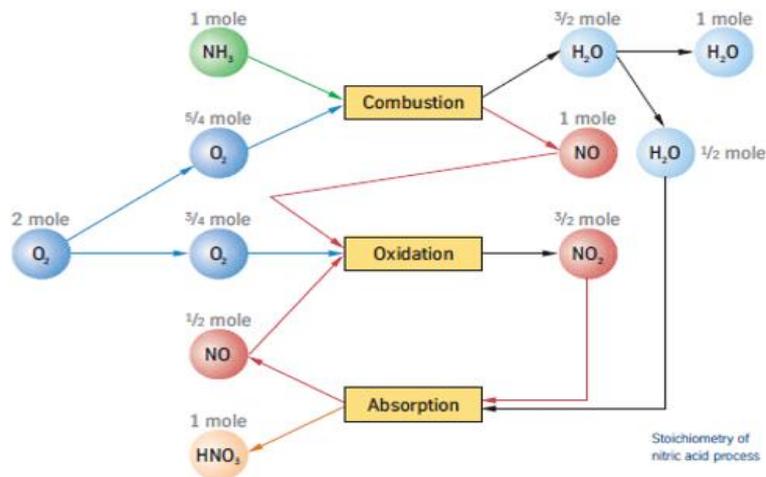
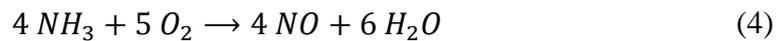


Figura 4.6 Estequiometría global de las reacciones de una planta de producción de ácido nítrico

El proceso tiene lugar en varias etapas. En la primera el Amoniacco reacciona con el Oxígeno del aire para generar Óxido Nitroso (*Ecuación 4*):



Esta reacción tiene lugar sobre un catalizador alcanzándose grados de conversión de hasta el 97% en algunos procesos. Es fuertemente exotérmica, por lo que habitualmente tras el reactor hay una serie de intercambiadores, calderas, etc., para aprovechar el calor desprendido. El gas que abandona el reactor recibe el nombre de Gas de Proceso.

La segunda etapa tiene lugar a lo largo de los intercambiadores mencionados, de forma que el Óxido Nitroso formado en el reactor reacciona con más Oxígeno atmosférico convirtiéndose en Óxido Nítrico en la corriente de Gas de Proceso (*Ecuación 5*):



Esta reacción es exotérmica por lo que en los intercambiadores se aprovecha realmente el calor de las reacciones (*Ecuaciones 4 y 5*). Esta reacción (*Ecuación 5*) se favorece con la presión, por lo que en varios procesos hay un compresor tras la etapa del reactor, para favorecer esta segunda reacción. También esta reacción (*Ecuación 5*) aumenta su cinética al bajar la temperatura, razón por la cual se busca bajar la temperatura de la corriente de Gas de Proceso por debajo de los 45 °C, consiguiéndose así un grado de conversión del 100%.

Finalmente, el Óxido Nítrico formado se absorbe en agua en una Torre de Absorción de platos (*Figura 4.7*) convirtiéndose en Ácido Nítrico, según la reacción global (*Ecuación 6*):



Figura 4.7 Torre de absorción de platos



La reacción es exotérmica, por lo que los platos están refrigerados con serpentines por los que circula agua de refrigeración. Los platos pueden ser de varios tipos (campana, borboteo, perforados, etc.) pero no es válido utilizar relleno ordenado, pues se requieren platos donde se diferencien claramente una fase líquida y una gaseosa, necesarias para que se den las reacciones químicas reales, pues la indicada como (*Ecuación 6*) no es más que la suma de las dos que realmente se dan. Así, en la fase líquida, el NO_2 del plato inferior se absorbe y reacciona con el agua generando ácido nítrico que se queda en la fase líquida y Óxido Nitroso que se incorpora a la fase gas (*Ecuación 7*):



El Ácido Nítrico formado incrementa el volumen de la fase líquida del plato donde se forma, y por rebose cae al plato inferior donde se pone en contacto con Óxido Nítrico más concentrado, por lo que la concentración de Ácido Nítrico aumenta al bajar en los platos de la Torre de Absorción, hasta que por el fondo de la misma se extrae el producto de máxima concentración, habitualmente entre 50 y 60 % en peso.

El Óxido Nitroso que se forma en cada plato asciende con la corriente gaseosa al plato superior. En el espacio que separa los platos se da de nuevo la oxidación del Óxido Nitroso generando nuevamente Óxido Nítrico (*Ecuación 8*):



El Óxido Nítrico formado procedente del plato inferior reacciona en la fase líquida, de acuerdo con la reacción (*Ecuación 8*). Así conforme asciende de plato en plato, la corriente gaseosa se empobrece en Óxidos de Nitrógeno, de forma que por la parte superior de la Torre de Absorción sale un gas con un contenido entre las 10 y las 1.500 p.p.m.v., dependiendo de la presión de trabajo de la torre, y la eficacia de los platos.

El gas que abandona la Torre de Absorción, denominado Gas de Cola, se depura en reactores catalíticos para eliminar los óxidos de Nitrógeno por razones medioambientales, se recalienta en intercambiadores con el Gas de Proceso, y finalmente cede su energía en una turbina de expansión, tras la cual es emitido a la atmósfera por una chimenea.

El Ácido Nítrico que abandona el fondo de la Torre de Absorción lleva disuelto Óxido Nítrico, que es un problema tanto por su toxicidad (en caso de utilización directa del producto), como por las reacciones no deseadas a que puede dar lugar en la planta de Nitrato Amónico. Por ello, antes de abandonar la Planta de Ácido Nítrico se le somete a una desorción física en una Torre de Desorción de platos, denominada Torre de Blanqueo, por contacto con aire caliente. El aire con los óxidos de nitrógeno que abandona la Torre de Blanqueo se incorpora a la Torre de Absorción, mientras el Ácido Nítrico producido se almacena en tanques para su reutilización en otras plantas o venta directa en cisternas.

4.4 El nitrato amónico como fertilizante

Una vez que el Nitrógeno se encuentra en forma de Ácido Nítrico, cabría pensar que ya está en disposición de ser absorbido por las raíces de las plantas. No obstante, la extrema acidez del Ácido Nítrico lo hace inviable para ser utilizado como fertilizante de forma directa. Así pues, se debe neutralizar con una base y ser convertido en una sal soluble en agua para que llegue hasta las raíces de las plantas donde será absorbido. De todas las sales del Ácido Nítrico, la más utilizada como fertilizante es el Nitrato Amónico (NH_4NO_3), debido a varias razones.

En primer lugar, el Nitrato Amónico (NH_4NO_3) es altamente soluble lo que facilita su disolución en el terreno abonado mediante el agua de lluvia o de riego, garantizando así que este llegue hasta las raíces donde podrá ser absorbido. En segundo lugar, el Nitrato Amónico es la única sal del Ácido Nítrico que aporta dos átomos de Nitrógeno por cada molécula, es decir es el más concentrado en Nitrógeno, teniendo un contenido en Nitrógeno del 35% en peso, frente a otras sales cuyo contenido en Nitrógeno es notablemente inferior. En tercer lugar, la mitad del Nitrógeno que aporta el Nitrato Amónico lo hace en forma nítrica (NO_3^-) y la otra mitad en forma amoniacal (NH_4^+). Esto le confiere la propiedad de que la mitad que se aporta en forma nítrica es asimilable de forma inmediata por la planta, y la mitad que se aporta en forma amoniacal va siendo transformado por las bacterias nitrificantes existentes en las raíces de las plantas en forma nítrica de forma paulatina, por lo que sigue actuando como fertilizante mucho tiempo después de su aplicación al terreno. El resultado es que las mejores cosechas se obtienen con fertilizantes basados en el Nitrato Amónico. Así los mejores rendimientos de las cosechas de cereales o maíz (*Figura 4.8*) del mundo se dan en varios países de la Unión Europea, donde se usan fertilizantes basados en el Nitrato Amónico, y llueve en abundancia.



Figura 4.8 Maizal

En la imagen superior puede apreciarse la comparativa entre dos campos contiguos sembrados con la misma variedad de maíz, donde la lluvia recibida y el terreno es el mismo, sin embargo, el de la izquierda ha sido abonado con nitrato amónico y el de la derecha no ha sido abonado. Los resultados de cosecha a obtener son claramente apreciables.

4.5 Usos del Nitrato Amónico

El Nitrato Amónico es muy soluble en agua, por lo que raramente se le encuentra en depósitos en la naturaleza. Por ello debe ser obtenido mediante procesos químicos.

El primer proceso de obtención del Nitrato Amónico data de 1659 en Alemania, donde el científico Glauber lo obtuvo por reacción química del Carbonato Amónico con el Ácido Nítrico.

Durante dos siglos su uso se limitó a un producto intermedio en la fabricación de Explosivos, debido a sus potentes propiedades oxidantes, reemplazando al Nitrato Potásico para la fabricación de pólvora desde principios del siglo XIX. Los explosivos basados en el Nitrato Amónico fueron patentados en Suecia, y Nobel desarrolló un tipo de dinamita sensibilizada con Nitrato Amónico. Hoy en día sigue utilizándose en la industria minera para la fabricación de explosivos mediante su mezcla con fuel oil y otros combustibles. Las formas en que se usa el Nitrato Amónico para explosivos son de granos de baja densidad y alta porosidad, que facilitan un contacto íntimo con los combustibles, lo cual difiere mucho respecto de la forma en que se usa para la fabricación de fertilizantes.

En comparación con su uso en explosivos, los usos agrícolas del Nitrato Amónico comenzaron mucho después, a principios del siglo XX. El papel excepcional como fertilizante del Nitrato Amónico ya se comprobó a mediados del siglo XIX, junto con otros Nitratos como era el caso del Nitrato Sódico, conocido como Nitrato de Chile, procedente de deposiciones de aves marinas en varias islas del pacífico Sur. Durante la Primera Guerra Mundial los suministros de Nitrato de Chile fueron difíciles de obtener, lo que propició el desarrollo del proceso de Haber-Bosch de obtención de Amoníaco, y su conversión primero a Ácido Nítrico y a Nitrato Amónico después.

El problema para su uso como fertilizante es que era un producto sólido muy inestable con una tendencia a la descomposición de forma explosiva muy alta, así como a aumentar la gravedad de los incendios en los que se veía involucrado, todo ello debido a su potente acción oxidante. Así en 1915-1916 se comercializó en Alemania varias mezclas de Nitrato Amónico y piedra caliza (Carbonato Cálcico) en varias proporciones, que presentaba una mayor estabilidad para su uso como fertilizante.

Así en nuestros días el fertilizante que más se utiliza a nivel mundial es una mezcla de Nitrato Amónico y piedra caliza en una proporción 79/20, con un 1% de otras materias para mejorar otros aspectos, como reducir la tendencia a la aglomeración y la higroscopicidad del producto, por lo que suele denominársele Nitrato Amónico Cálculo o NAC (*Figura 4.9*), indicando la concentración de Nitrógeno, que es de un 27% para mezclas con la proporción indicada. La forma en que se comercializa es en forma de granos sólidos de alta densidad y baja porosidad. Todo ello rebaja la tendencia a la descomposición de los fertilizantes basados en Nitrato Amónico, haciendo su manejo seguro por parte de los agricultores.

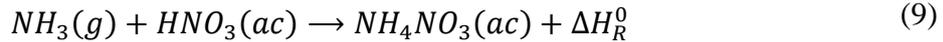


Figura 4.9 Nitrato amónico cálcico

4.6 Procesos químicos de fabricación del nitrato amónico

Antes de la primera guerra mundial, el Nitrato Amónico se producían partir del Nitrato de Chile (básicamente Nitrato Sódico) por conversión con Sulfato Amónico, y posterior cristalización fraccionada. En el proceso Norsk Hydro con arco eléctrico, el Nitrato Sódico se obtenía por absorción del Óxido Nítrico gas que aparece en el arco eléctrico a partir del Nitrógeno y Oxígeno Atmosférico, en Hidróxido Sódico. Este Nitrato Sódico era la fuente de la producción de Nitrato Amónico vía descomposición doble con Cloruro Amónico. También en Gran Bretaña se desarrollaron dos métodos de obtención anteriores a la primera guerra mundial: Uno de ellos usaba el Nitrato de Chile y el otro el Nitrato Cálculo.

Con el desarrollo del proceso Häber-Bosch de fabricación de amoniaco, los métodos anteriores se fueron desechando progresivamente, y hoy en día todo el Nitrato Amónico producido a nivel mundial procede del proceso vía amoniaco y ácido nítrico.



La reacción química (*Ecuación 9*) es irreversible, completa y virtualmente instantánea, por lo que no hay consideraciones de tipo termodinámico ni cinético. El calor de la reacción depende de la concentración del ácido nítrico empleado, así como de la concentración del nitrato amónico final. Con las concentraciones de ácido nítrico utilizadas en las plantas más modernas (55-65 % en peso), con unas pérdidas de alrededor del 5 %, el calor de la reacción proporciona la energía necesaria para concentrar el Nitrato Amónico hasta el 98 %, permitiendo generar una cierta cantidad de vapor también.

Los procesos industriales de producción de Nitrato Amónico incluyen tres etapas sucesivas:

1. Neutralización: El ácido Nítrico en disolución acuosa reacciona con el Amoniaco y, por utilización parcial o total del calor de la reacción, se obtiene una solución acuosa de Nitrato Amónico más o menos concentrada.
2. Concentración: La solución generada en la primera etapa es concentrada eliminando agua en uno o varios evaporadores obteniendo la sal fundida.
3. Granulación: El Nitrato Amónico fundido procedente de la etapa anterior se mezcla con carbonato cálcico o carbonato magnésico, que reducen la tendencia a la descomposición del Nitrato Amónico puro, y solidifican juntos en forma de granos de entre 2-5 mm de diámetro, que es el producto comercial que llega hasta el agricultor.

La concentración del Ácido Nítrico utilizado generalmente está entre 50-70 %. Los elevados puntos de fusión del nitrato amónico pueden causar bloqueos en las tuberías y equipos de la planta. La solubilidad en agua del amoniaco desciende rápidamente con la temperatura. La alta volatilidad de los componentes y la descomposición de la sal conduce fácilmente a elevadas pérdidas y problemas de corrosión y medio ambientales. Por ello la selección de las condiciones de operación (temperatura, presión, concentración, utilización del calor de la reacción) y de las características constructivas nos conducirá a un máximo aprovechamiento del calor, y así obtener un nitrato amónico fundido concentrado con un mínimo de pérdidas caloríficas, y al mismo tiempo asegurar unas condiciones de operación seguras, todo con un mínimo consumo de energía.

El presente Trabajo de Fin de Grado se centra en el desarrollo del reactor de neutralización para una planta que produzca 1.033 t/día de nitrato amónico.

5. Normas y referencias.

5.1 Disposiciones legales y normativas aplicables

A continuación, se enumera la normativa aplicable a este proyecto.

- Ley 21/1992, de 16 de julio, de Industria.
- Real Decreto 2060/2008, de 12 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias (BOE 05.02.09), concretamente las instrucciones:
 - ITC-EP-1: Calderas
 - ITC-EP-3: Refinerías de Petróleos y Plantas Petroquímicas
- RD 1627/1997, del 14 de abril por lo que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud laboral en los lugares de trabajo.
- Ley 31/1995, del 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales
- Normas TEMA (Tubular Exchanger Manufacturers Association) para el diseño del intercambiador de calor de coraza y haz de tubos.
- UNE-EN ISO 5455 – Dibujos técnicos. Escalas. (ISO 5455:/979)
- UNE-EN ISO 3098-0 – Documentación técnica de productos. Escritura.
- UNE 1032 – Dibujos técnicos. Principios generales de representación.
- UNE 157001-2014, “Criterios generales para la elaboración de los documentos que constituyen un proyecto técnico”.
- UNE-EN 13480-3:2017, Tuberías metálicas industriales. Parte 3: Diseño y cálculo.

5.2 Referencias

4.2.1 Bibliografía

La bibliografía consultada a lo largo de este proyecto se enuncia a continuación:

- [1] (s.f). [Figura]. Recuperado de: <http://3.bp.blogspot.com/-TRFxJFMKrc4/UT-wwFxp8mI/AAAAAAAAAIc/qgza68R-HvU/s1600/Comercializaci%C3%B3n-del-guano.png>
- [2] Keleti, C. (1985). Fertilizer Science and Technology Series: Nitric Acid and Fertilizer Nitrates. Volumen N°4. San Francisco: Editorial MARCEL DEKKER INC.
- [3] Sinnott, R. K. (2005). Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen N° 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann.
- [4] Apuntes de la asignatura EQ1031-Proyectos de Ingeniería
- [5] Keleti, C. (1985). *fig3 Specific heats of aqueous nitric acid solutions*. [Figura]. Fertilizer Science and Technology Series: Nitric Acid and Fertilizer Nitrates. Volumen N°4. San Francisco: Editorial MARCEL DEKKER INC.
- [6] *Base de datos de componente*. Extraído de: DWSIM –Open Source Process Simulation, Modeling and Optimization (5.6) [Software]. 2019. Daniel Medeiros and contributors. Recuperado de: <http://dwsim.inforside.com.br/wiki/index.php?title=DWSIM>
- [7] Perry, R.H. y Green, D.W. (2007), *Table 2-198 Heat capacities of Inorganic and Organic Compounds in the Ideal Gas States*. [Tabla]. Perry's Chemical Engineers' Handbook. 8ª edición. McGraw-Hill
- [8] Keleti, C. (1985). *Specific heat capacities*. [Tabla] Fertilizer Science and Technology Series: Nitric Acid and Fertilizer Nitrates. Volumen N°4. MARCEL DEKKER INC. San Francisco.
- [9] Othmer y Frolich (1960). *Correlating vapor pressures and Heats of solution for the ammonium nitrate- water system: An enthalpy–concentration diagram*. AIChE Journal.
- [10] Keleti, C. (1985). *Densities of Aqueous Ammonium Nitrate Solutions*. [Tabla]. Fertilizer Science and Technology Series: Nitric Acid and Fertilizer Nitrates. Volumen N°4. San Francisco: Editorial MARCEL DEKKER INC.

- [11] Keleti, C. (1985). *Viscosities of aqueous ammonium nitrate solutions*. [Tabla]. Fertilizer Science and Technology Series: Nitric Acid and Fertilizer Nitrates. Volumen N°4. San Francisco: Editorial MARCEL DEKKER INC.
- [12] Universidad Tecnológica Nacional, facultad del rosario, Dpto. Ingeniería Química, Cátedra de integración III. (s.f.). *Tabla de vapor de agua saturado* [Tabla]. Recuperado de: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_anio/integracion3/Tablas_de_vapor_de_agua.pdf
- [13] Universidad Tecnológica Nacional, facultad del rosario, Dpto. Ingeniería Química, Cátedra de integración III. (s.f.). *Tabla de vapor de agua recalentado* [Tabla]. Recuperado de: https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/quimica/3_anio/integracion3/Tablas_de_vapor_de_agua.pdf
- [14] engineeringtoolbox.com, (s.f.). *Dynamic Viscosity* [Tabla]. Recuperado de <https://www.engineeringtoolbox.com/>.
- [15] División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca DICIS, Universidad de Guanajuato *Tabla B3Propiedades del agua saturada*. [Tabla]. Recuperado de: http://www.dicis.ugto.mx/profesores/jriesco/documentos/III06083%20MF_11%20Ap%C3%83%C2%A9ndices%20B%20y%20C_Tablas.pdf
- [16] División de Ingenierías Campus Irapuato Salamanca DICIS, Universidad de Guanajuato *Tabla B3Propiedades del agua saturada*. [Tabla]. Recuperado de: http://www.dicis.ugto.mx/profesores/jriesco/documentos/III06083%20MF_11%20Ap%C3%83%C2%A9ndices%20B%20y%20C_Tablas.pdf
- [17] Renedo, C.J, (s.f). *Propiedades del agua* [Tabla]. Recuperado de: <https://personales.unican.es/>
- [18] -Kirova-Yordanova, Z. (2014) *Exergy analysis of ammonium nitrate production plants*. The 27th Int. Conference on Efficiency, Costs, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems
- Keleti, C. (1985), Fertilizer Science and Technology Series: Nitric Acid and Fertilizer Nitrates. Volumen N°4. MARCEL DEKKER INC. San Francisco.
- [19] Keleti, C. (1985), *Fig. 5 Vapor pressures over aqueous ammonium nitrate solutions*. [Figura]. Fertilizer Science and Technology Series: Nitric Acid and Fertilizer Nitrates. Volumen N°4. MARCEL DEKKER INC. San Francisco.
- [20] Wikipedia, última actualización 2019. *Boiling Point: Saturation temperature and pressure*. [Ecuación]. Recuperado el 05/07/19 de la página: https://en.wikipedia.org/wiki/Boiling_point

- [21] *Base de datos de componente*. Extraído de: DWSIM-Open Source Process Simulation, Modeling and Optimization (5.6) [Software]. 2019. Daniel Medeiros and contributors. Recuperado de:
<http://dwsim.inforside.com.br/wiki/index.php?title=DWSIM>
- [22] Esta referencia ha sido extraída de datos empíricos utilizados en empresas del sector de producción de fertilizantes, en concreto de la empresa Fertiberia Sagunto S.L.
- [23] Sinnott, R. K. (2005). *12.11.5 Design of thermosyfon reboilers* [Texto]. Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen Nº 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann.
- [24] Static.Websguru. (s.f.). *Composición Química (%) de los Aceros Inoxidables más utilizados en el mercado* Recuperado de la página web
https://static.websguru.com.ar/var/m_6/65/65e/100190/1374415-clasificacionaceros.pdf
- [25] upcommons (s.f.) *Límites de temperatura aplicables y resistencia de los aceros. Se señalan en rojo los materiales propuestos por defecto, y en negro los materiales asimismo elegibles.* [Tabla]. Recuperado de
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17145/ANEXO?sequence=7>.
- [26] *Apartado 5 de la Normativa UNE-EN 13480-3: Tuberías metálicas industriales. Parte 3: Diseño y cálculo.*
- [27] upcommons (s.f.) *Espesores y diámetros interiores de distintos tubos normalizados DIN [mm].* [Tabla]. Recuperado de:
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/17145/ANEXO?sequence=7>
- [28] *Apartado 6 de la Normativa UNE-EN 13480-3: Tuberías metálicas industriales. Parte 3: Diseño y cálculo.*
- [29] *Apartado 4.3 de la Normativa UNE-EN 13480-3: Tuberías metálicas industriales. Parte 3: Diseño y cálculo.*
- [30] Sinnott, R. K. (2005). (12.3). [Ecuación]. Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen Nº 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann.
- [31] Sinnott, R. K. (2005). *Table 12.4. Constants for use in equation 12.3.* [Tabla]. Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen Nº 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann

- [32] Sinnott, R. K. (2005). *Figure 12.10. Shell-bundle clearance*. [Figura]. Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen N° 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann.
- [33] Sinnott, R. K. (2005). *Example 12.11*. [Ecuación]. Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen N° 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann.
- [34] Sinnott, R. K. (2005). *(12.19)* [Ecuación]. Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen N° 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann.
- [35] Sinnott, R. K. (2005). *figure 12.24*. [Figura]. Chemical Engineering Design. Coulson and Richardson's chemical engineering series. Volumen N° 6. 4ª Edición. Oxford, UK. Editorial Elsevier: Butterworth Heinemann.
- [36] Rodrigo, M. D (2003). [Ecuación]. Operaciones básicas de flujo de fluidos. Castellón de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [37] Ludwig, E.E. *Applied process design for chemical and petrochemical plants*. Volumen N° 3. 3ª Edición. Baton Rouge, Louisiana. Editorial Gulf Professional Publishing.
- [38] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real Cátedra de Ingeniería Rural. (s.f). *4.4 Pérdidas localizadas en un estrechamiento gradual de sección (tobera)*. Ciudad Real. Recuperado de: https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF
- [39] Rodrigo, M. D (2003). *Longitud de tubo equivalente al frotamiento en válvulas y accesorios* [Tabla]. Operaciones básicas de flujo de fluidos. Castellón de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [40] Rodrigo, M. D (2003). *Circulación de líquidos por conducciones* [Tabla]. Operaciones básicas de flujo de fluidos. Castellón de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [41] Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real Cátedra de Ingeniería Rural. (s.f). *4.2 Pérdidas localizadas en un ensanchamiento gradual de sección*. Ciudad Real. Recuperado de https://previa.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema8.PDF

- [42] Barba, A. (2003). (6.7). [Ecuación] Operaciones básicas de transmisión de calor. Castellón de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [43] Barba, A. (2003). (4.7) [Ecuación]. Operaciones básicas de transmisión de calor. Castellón de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [44] Barba, A. (2003). *Número de Prandtl* [Ecuación]. Recuperado de Barba, A. (2003). Operaciones básicas de transmisión de calor. Castellón de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [45] Honti, G.D. (1976). *The nitrogen industry*. Budapest. Akadémiai Kiadó.
- [46] Barba, A. (2003). (2.13). [Ecuación] Recuperado de Barba, A. (2003). Operaciones básicas de transmisión de calor. Castellón de la Plana, Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [47] Barba, A. (2003). *Numero de Nusselt*. [Ecuación] Operaciones básicas de transmisión de calor. Castellón de la Plana. Publicacions de la Universitat Jaume I.
- [48] Irestalgroup. (s.f). *Tabla de características técnicas del acero inoxidable* [Tabla]. Recuperado de: <http://data.irestal.com/files/files/2012030204152933979.pdf>

4.2.2 Programas utilizados

Los programas empleados durante la realización del proyecto han sido:

- Complementos de Microsoft Office Professional Plus 2016:
 - Microsoft Word 2016
 - Microsoft Excel 2016
- Complementos de Autodesk™:
 - Autocad 2019

6. Definiciones y abreviaturas.

6.1 Abreviaturas del proyecto

Las abreviaturas utilizadas en el presente proyecto son las que se muestran a continuación (*Tabla 6.1*). No obstante, a lo largo del proyecto se han ido explicando las abreviaturas utilizadas en cada fórmula o ecuación utilizada, para facilitar el seguimiento.

Tabla 6.1 Definiciones y abreviaturas del proyecto

Abreviatura	Descripción
NA	Nitrato amónico
NAC	Nitrato amónico cálcico
SI	Sistema internacional
t	Tonelada
T	Temperatura
T_0	Temperatura inicial
$T_{eb,P}$	Temperatura de ebullición a la presión P
T_{ref}	Temperatura de referencia
$T_{f,10}$	Temperatura final de la corriente 10
$T_{i,10}$	Temperatura inicial de la corriente 10
P	Presión
P_0	Presión inicial
ΔP	Diferencia de Presión
C_p	Calor específico
ΔC_p	Diferencia de Calor específico
k	Conductividad térmica
C	Concentración
ρ	Densidad
μ	Viscosidad
μ_w	Viscosidad del agua
r	Calor latente de vaporización
H	Entalpía
ΔH	Diferencia de entalpía
$\Delta H_{disolución}^0$	Entalpía de disolución

En la *Tabla 6.2* se recogen más abreviaturas y definiciones utilizadas a lo largo del proyecto.

Tabla 6.2 *Definiciones y abreviaturas del proyecto*

Abreviatura	Descripción
$\Delta H_{reacción}^0$	Entalpía propia de la reacción
(ac.)	En solución acuosa
PM	Peso Molecular
m_{j0}	Caudal másico inicial del componente j
F_{j0}	Caudal molar inicial del componente j
m_j	Caudal másico final del componente j
F_j	Caudal molar final del componente j
$q_{reacción}$	Calor de la reacción
$q_{reacción}$	Calor de la caldera
q	Energía por unidad de tiempo o calor
R	Constante universal de los gases
L	Longitud
L_{eq}	Longitud equivalente
D	Diámetro
D_0	Diámetro externo
D_i	Diámetro interno
D_b	Diámetro del haz
S	Sección
Q	Caudal volumétrico
v_e	Velocidad del componente e
θ	Grado de apertura
λ	Parámetro de Gibson
z	Altura
n	Año
A	Área de intercambio de calor
Pr	Número de Prandtl
Nu	Número de Nusselt
Re	Número de Reynolds

En la *Tabla 6.3* se recogen más abreviaturas y definiciones utilizadas a lo largo del proyecto.

Tabla 6.3 *Definiciones y abreviaturas del proyecto*

Abreviatura	Descripción
ΔH_R^0	Diferencia entre la entalpía de la disolución y la entalpía propia de la reacción.
h_0	Coefficiente individual de intercambio de calor del lado coraza
U_0	Coefficiente global de intercambio de calor referido al área externa
h_i	Coefficiente individual de intercambio de calor del lado tubos
V_c	Volumen de la carcasa
DN(N°)	Diámetro nominal de la tubería. El (N°) indica el valor del diámetro nominal en mm.
e_{min}	Espesor mínimo
$\frac{kg}{cm^2} abs$	Unidad de medida de presión. Referida a kilogramos de fuerza por centímetro cuadrado de presión absolutos.
bar@	Unidad de medida de presión. Referida a bares de presión absolutos.

En la *Tabla 6.4* se recogen los subíndices utilizados a lo largo del proyecto.

Tabla 6.4 *Subíndices del proyecto*

Abreviatura	Descripción
Subíndice <i>e</i>	Referido a condiciones de entrada
Subíndice <i>s</i>	Referido a condiciones de salida
Subíndice <i>t</i>	Referido a los tubos de la caldera
Subíndice <i>c</i>	Referido a la coraza de la caldera
Subíndice <i>vap</i>	Indica que la corriente está en estado gas
Subíndice <i>R</i>	Referido a la reacción
Subíndice (<i>N^o corriente</i>)	Referido a la corriente de proceso con el correspondiente número
Subíndice (<i>componente</i>)	Referido a dicho componente

6.2 Sistema de unidades y numeración

Para el mejor entendimiento del proyecto se ha utilizado el siguiente sistema de numeración:

- Se utiliza un punto para separar los valores que distan entre sí de un orden de mil, es decir, los miles, los millones, los miles de millones, etc.
- Se utiliza una coma para separar los decimales del número entero.

Para la nomenclatura DIN y para enunciar los años no se ha utilizado separador de miles.

El sistema de unidades es, en su mayor parte, el sistema internacional de unidades, aunque se han utilizado en ocasiones unidades de otros sistemas de unidades. Todas las sustituciones numéricas se han realizado incluyendo las unidades utilizadas.

6.3 Definiciones

A lo largo de este proyecto se han ido utilizando múltiples palabras de significado poco conocido o ambiguo, por lo que a continuación se expone una lista de las mismas junto con su significado:

- *Concentrador*: Elemento separador del gas y el líquido tras la caldera. Denominado concentrador por su efecto separador de una parte del agua de la corriente principal.
- *Vahos*: Término utilizado para denominar a la corriente de vapor de agua que sale del concentrador de nitrato amónico. Esta corriente puede contener trazas mínimas de ácido.
- *Condensados*: Término utilizado para denominar el caudal de agua de lavado que entra a las duchas del concentrador.
- *Boil-off*: Término referido al caudal de vapor generado por la ebullición de una disolución contenida.
- *Stripping*: Término referido a la separación de dos componentes de diferente volatilidad.
- *Duty*: Anglicismo del inglés “heatduty” referido al flujo de calor. En este proyecto se utiliza para denominar a la potencia calorífica de la caldera.
- *Piscina de agua*: Referido a una cantidad de agua contenida en un recipiente. En este proyecto se utiliza para denominar al agua contenida en el interior de la carcasa de la caldera.
- *Coraza*: Referido a la carcasa del intercambiador de calor.
- *Neutralización*: En este proyecto, el término se asocia a la reacción de neutralización del ácido nítrico con el amoníaco (reacción principal).
- *pHmetro*: El pechímetro o potenciómetro es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución.
- *Tambor de vapor (o tambor)*: Término utilizado para referirse al depósito interconectado con la caldera.
- *Caps*: Anglicismo traducido como tapa. El término se utiliza para designar a las dos semiesferas que componen el lateral de un depósito, en este proyecto, el tambor.

- *Condensados de proceso*: Término utilizado para referirse al líquido producido por la condensación del vapor (o vahos) generado en el concentrador.

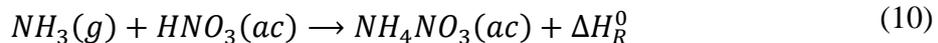
7. Requisitos de diseño

Se busca diseñar el sistema de reacción de una planta de producción de nitrato amónico. El sistema opera a media presión (4,0 kg/cm²) y mantendrá una producción de 1.033 t/día de nitrato amónico puro. La corriente de producción tendrá una composición final del 76 % en peso de nitrato amónico.

Como materias primas de partida se utilizan:

- Una corriente de 56.912 kg/h ácido nítrico al 60 % en peso a 115 °C de temperatura y 7,2 kg/cm² abs de presión.
- Una corriente de 9.157 kg/h de amoníaco gaseoso puro a 90 °C y 7,4 kg/cm² abs.
- Una corriente de agua de lavado de 2.500 kg/h en el concentrador a la temperatura de 100 °C y 4,0 kg/cm² abs de presión.⁽¹⁾

La solución de Nitrato Amónico se forma por la reacción de *Ácido Nítrico en disolución acuosa con amoníaco gaseoso*. Dicha reacción es estequiométrica y se desarrolla de acuerdo a la siguiente fórmula (*ecuación 10*):



donde los componentes son:

- NH_3 : *Amoníaco*
- HNO_3 : *Ácido Nítrico*
- NH_4NO_3 : *Nitrato Amónico*

El sistema diseñado en su conjunto consiste en un reactor para producir nitrato amónico, un sistema de intercambio de calor para eliminar parte del calor producido por la reacción y así producir de vapor de alta presión (caldera) y un sistema separador (concentrador) para separar parcialmente el agua que acompaña a la corriente principal, aprovechando parte de la energía liberada por la reacción.

El funcionamiento principal del separador quedará definido mediante los correspondientes balances de materia y energía.

⁽¹⁾Caudales de las corrientes de partida obtenidos en el Anexo 2

8. Análisis de soluciones

8.1 Sistemas de producción de nitrato amónico

La reacción química es instantánea con una elevada energía de reacción liberada, que da lugar a un producto altamente inestable, por lo que esta etapa requiere unas condiciones de operación seguras:

- Conseguir una excelente mezcla de los reactivos, y un control del pH final en unos estrechos márgenes, a fin de evitar sobrecalentamientos locales.
- Mantener un estricto control de la temperatura en todo el reactor, con una recuperación de calor lo más amplia posible.

En la práctica, los diferentes procesos de neutralización difieren en dos puntos: Control de la mezcla de reactivos y control de la temperatura.

Los parámetros de reacción y de construcción adoptados en la etapa de neutralización, definen la totalidad del proceso de fabricación, estos son: el precalentamiento del ácido nítrico, la evaporación del amoníaco y la concentración del producto. Estos tres parámetros pueden ser llevados a término con el calor recuperado en el reactor. Los reactivos no reaccionados, vienen también determinados por las condiciones y el diseño del reactor. Así pues, es el reactor el equipo básico para la clasificación de los procesos de obtención de este producto.

Los neutralizadores se pueden dividir en tres grandes grupos, de acuerdo con la temperatura alcanzada en la zona de reacción, encontrando los que operan por debajo del punto de ebullición del Nitrato Amónico a presión atmosférica, los que lo hacen justo en el punto de ebullición, o los que trabajan por encima de dicho punto de ebullición. A continuación, se comentan las ventajas y desventajas de cada uno de los tres grupos.

1. Neutralizadores que trabajan a una temperatura inferior al punto de ebullición a presión atmosférica.

Cuando el ácido nítrico y el amoníaco se encuentran, el calor de la reacción incrementa la temperatura del producto final hasta el punto de ebullición, donde comienza la evaporación del agua. El proceso sigue así la curva de ebullición del nitrato amónico hasta el punto donde el agua evaporada ha consumido todo el

calor liberado en la reacción química no usado para el calentamiento de la solución. Para conseguir trabajar a estas temperaturas todos los procesos usan un sistema con recirculación de parte del producto obtenido, donde esa recirculación es sometida a enfriamiento. El enfriamiento y el ratio de recirculación definen la temperatura del neutralizador.

Una excepción a lo mencionado en el párrafo anterior, pero que ya no está en uso, fue el enfriamiento del reactor con agua. Sin recirculación externa, el agua de enfriamiento del reactor retiraba la mayor parte del calor de la reacción.

Los procesos actuales mantienen la temperatura por debajo de 100-120 °C, y utilizan el calor de la reacción para evaporar una parte del agua. Destacan los procesos de flash a vacío y de stripping con aire.

Existen varios procesos industriales que usan el principio de funcionamiento de Flash a vacío: El amoníaco, el ácido nítrico y el nitrato amónico recirculado se alimentan al reactor que trabaja a presión atmosférica. El ratio de recirculación controla la temperatura. La solución obtenida pasa por varios tanques intermedios que hacen de post-neutralizador, donde se lleva a cabo el ajuste fino del pH. El producto resultante se despresuriza a vacío y se recalienta con el vapor producido en la neutralización, obteniéndose así un producto final concentrado hasta el 98 %. Los vapores producidos en la etapa de vacío se aprovechan para precalentar el ácido nítrico y evaporar el amoníaco. Las bajas temperaturas de todo el proceso presentan ventajas significativas: Los materiales utilizados pueden ser menos exigentes al disminuir el grado de corrosividad de las especies químicas presentes a menor temperatura; las pérdidas por arrastres en el vapor de parte de los reactivos son menores; por último, desde el punto de vista de la seguridad de procesos se trabaja muy lejos de los puntos de descomposición del nitrato amónico. Las desventajas de trabajar a vacío es el mayor coste de los equipos y que normalmente requieren de una fuente externa de energía. Dado que los vapores generados en la reacción se obtienen a baja temperatura (60-75 °C), su utilización se ve muy limitada, como es el caso del precalentamiento del ácido nítrico.

Ejemplos de procesos de Flash a vacío son: El proceso UHDE-I.G., y el proceso Kestner.

2. *Neutralizadores que trabajan a la temperatura de ebullición a Presión Atmosférica.*

Eliminando la recirculación de la solución de nitrato amónico, estos procesos usan unos equipos muy simplificados, que operan a altas temperaturas (150-200 °C), que producen el vapor resultante del boil-off de una parte del agua introducida con el ácido nítrico a una temperatura de unos 100 °C. Usando este vapor producido para precalentar el ácido nítrico del 60 % como alimentación, se puede obtener hasta un 98 % de concentración. El vapor no puede ser utilizado fuera de la planta por dos razones: primero porque los vapores están contaminados con amoníaco y ácido nítrico, por lo que para ser utilizados se necesitan intercambiadores de acero inoxidable, segundo, porque la baja presión a la que se producen restringe mucho su posible uso posterior. Para conseguir unos grados de mezcla de los reactivos óptimos, se suele utilizar dos depósitos en serie, el segundo más pequeño que el primero solo para el ajuste fino de pH del producto final.

Ejemplos de procesos de neutralización atmosférica son: El proceso ICI, y el proceso Kaltenbach Nitrablock.

3. *Neutralizadores que trabajan por encima de la temperatura de ebullición a Presión Atmosférica.*

La mayoría de los procesos modernos de producción entran dentro de este grupo, y el parámetro de diseño es la presión del reactor, habitualmente entre 2-6 bar@. Unos procesos utilizan recirculación y otros no. La presión sirve para mantener el reactor cerca de los 180 °C. Los vapores resultantes a 4-5 atmósferas sirven no solo para precalentar los reactivos, sino que pueden ser utilizados para la etapa de concentración, e incluso exportar energía fuera de la planta en forma de vapor.

La mayor presión y temperatura de trabajo causan elevados grados de corrosión y pérdidas de los reactivos en el vapor. Por ello se necesitan materiales de construcción especiales. Como ventajas tienen que los vapores se pueden exportar fuera de la planta, incluso para generar energía eléctrica en turbinas.

Ejemplos de procesos de neutralización a presión son: El proceso Fauser a 5-7 atm, el proceso Stamicarbon, el proceso Kaltenbach de alta concentración, a 3,5 bar y 175 °C, el proceso SBA, el proceso UCB, el proceso Stengel, etc. [2]

Como conclusión, se puede afirmar que las tendencias actuales van más encaminadas a procesos a presión, donde los vapores generados pueden ser utilizados íntegramente en la propia planta e incluso exportados a otras. Por otro lado, la mayor pérdida de reactivos no reaccionados, habitualmente amoniaco, se compensan con reactores con un ligero exceso de ácido nítrico sobre el estequiométrico. Estos procesos tienen un cierto riesgo de explosión, al trabajar próximos a la temperatura de descomposición del Nitrato Amónico, que se controla mediante el uso de una recirculación de parte del producto generado (para limitar el aumento de temperatura) y mediante el control continuo del pH en el neutralizador. Aunque los materiales son más exigentes por el mayor grado de corrosividad, el mayor aprovechamiento de los vapores generados compensa este mayor coste de inversión, y por lo general son más rentables económicamente. El enfriamiento de dicha recirculación mediante una caldera, genera vapor limpio 100% exportable para otros usos, entre los que destaca su uso para generar energía eléctrica, como es el caso que se aborda en el presente proyecto.

8.2 Solución adoptada

Siguiendo las tendencias actuales en cuanto a sistemas de producción de nitrato amónico, se ha optado por desarrollar a lo largo de este proyecto un reactor (neutralizador) que opera por encima de la temperatura de ebullición a presión atmosférica. El sistema operará a una presión de 4,0 kg/cm², media entre los 2 y los 6 kg/cm² y su temperatura de ebullición para esa presión será de 178 °C.⁽²⁾ La *Figura 8.1* muestra un diagrama de flujo del sistema de reacción.

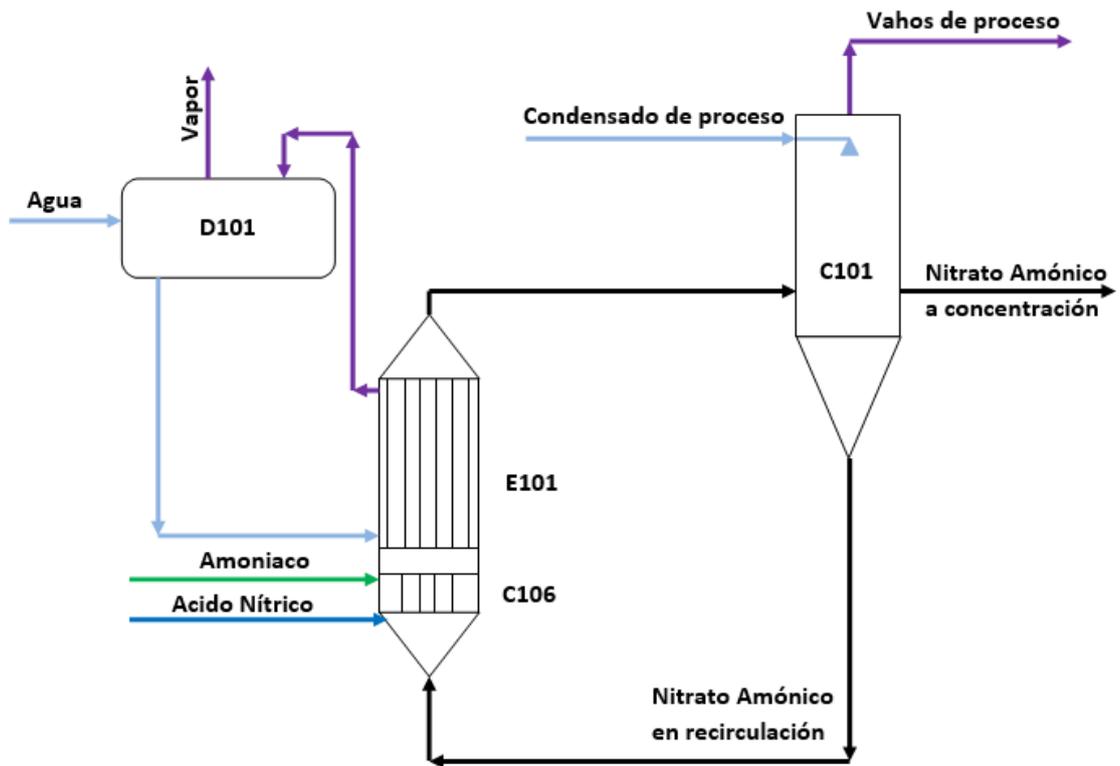
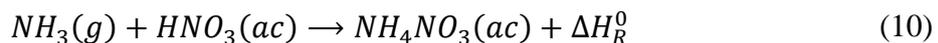


Figura 8.1 Diagrama de flujo del sistema de reacción, que incluye: reactor (C106), caldera de refrigeración y producción de vapor (E101), tambor de alimentación a la caldera (D101) y concentrador (C101).

Las materias primas utilizadas son ácido nítrico al 60 % y amoníaco gaseoso puro. La reacción se desarrolla de acuerdo al siguiente esquema (*Ecuación 10*):



y es fuertemente exotérmica.

Se proporciona un ligero exceso de ácido nítrico respecto del estequiométrico (6 g de ácido nítrico libre por litro de disolución), para garantizar que el nitrato amónico se

⁽²⁾ Temperatura de ebullición de la disolución de nitrato amónico a esta presión, calculada en el Anexo 2.

forme a un pH ácido con el objetivo de que los vahos formados en la reacción no arrastren amoníaco. Dado que el ácido nítrico libre acelera las reacciones de descomposición del nitrato amónico, se ha de mantener el exceso en 6 g/L. Este exceso de ácido nítrico libre se mide con un pHmetro que actúa sobre la válvula de entrada.

La potencia calorífica generada por la reacción se invierte en tres puntos principales del sistema:

- Elevar la temperatura de las corrientes de ácido nítrico y de amoníaco hasta la temperatura de operación del sistema (178 °C).
- Eliminar el agua necesaria en el sistema para garantizar un 76 % en peso de concentración en la disolución.
- Producir vapor. La potencia excedente se destina a la producción de vapor en una caldera.

El sistema funciona en circulación natural, como un termosifón vertical, donde la diferencia de densidad provocada por la reacción permite vencer todas las pérdidas de carga del sistema y que el nitrato amónico circule libremente entre el concentrador y el reactor.

La corriente de recirculación pasa por un difusor de flujo que aumenta el diámetro de la conducción hasta el valor del diámetro interno de la caldera y entra al reactor donde se mezcla primeramente con una corriente de ácido nítrico al 60% en peso a 115 °C y 7,2 kg/cm² abs de presión. Posteriormente a ese mezclado entra al reactor el segundo reactivo, amoníaco en estado gaseosos a 90 °C y 7,4 kg/cm² abs. La reacción es instantánea y se completa en su totalidad.

Cuando el nitrato amónico se calienta por encima de su punto de ebullición comienza a descomponerse, haciéndose apreciable a partir de los 200 °C y alcanzando valores críticos sobre los 210 °C.

El sistema de recirculación se diseñará para garantizar un factor de seguridad de 18 °C, respecto del valor crítico de temperatura. La disolución de nitrato amónico alcanzará un valor máximo de temperatura de 192 °C, alejado del rango de temperaturas de descomposición del nitrato amónico.

Inmediatamente posterior a la reacción se sitúa un sistema de intercambio de calor, que consiste en una caldera vertical de termosifón. El sistema consta de un sistema de intercambio de calor de coraza y tubos por donde el nitrato amónico circulará por el

interior de los tubos, y la coraza está diseñada a modo de piscina, puesto que se mantiene mojada la totalidad de la pared exterior de los tubos. A modo de regulación del nivel de vapor y líquido hay conectado un tambor de vapor, calculado para mantener un volumen de líquido equivalente a la totalidad del líquido en el interior de la caldera (descontando el volumen ocupado por los tubos).

La temperatura del agua y del vapor en la caldera ha de ser relativamente próxima a la de la disolución de nitrato amónico (con una diferencia máxima de unos 20°C) debido a las limitaciones que presenta la transferencia de calor en el caso de líquidos que hierven.

El mecanismo de transferencia de calor de una superficie sumergida (en el caso de la caldera, la superficie de los tubos) en una piscina de líquido depende de la diferencia de temperatura entre la superficie y el líquido. En la *Figura 8.2* se muestra a modo ilustrativo, el flujo de calor máximo de una piscina de agua a 1 bar.

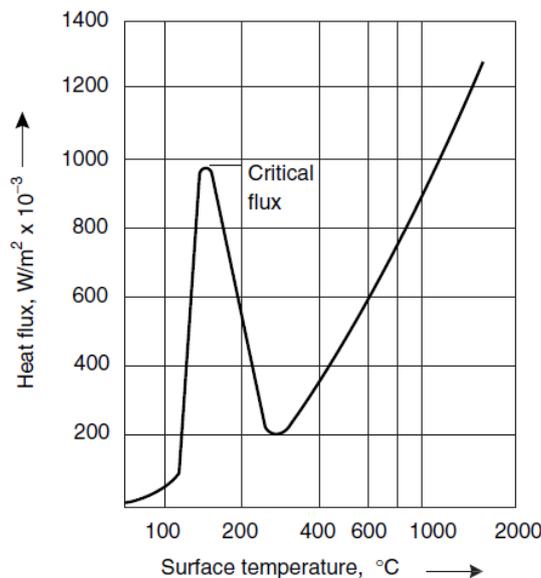


Figura 8.2 Curva típica de ebullición en un tanque de agua a 1 bar de presión (Temperatura del líquido = 100 °C)

A pequeñas diferencias de temperatura, cuando el líquido está por debajo de su punto de ebullición, el calor se transfiere por convección natural y el flujo de calor es bajo. A medida que se eleva la temperatura de la superficie, se produce un hervor incipiente y se forman burbujas de vapor que se desprenden de la superficie. La agitación causada por la generación y ascensión de burbujas da como resultado un gran incremento en la velocidad de transferencia de calor. Este fenómeno se conoce como ebullición con nucleación.

A medida que aumenta la temperatura, la velocidad de transferencia de calor aumenta hasta que el flujo de calor alcanza un valor crítico. A partir de este punto, la velocidad de generación de vapor es muy alta, aparecen zonas secas espontáneamente sobre la superficie, y la velocidad de transferencia de calor disminuye rápidamente. Si se sigue aumentando la diferencia de temperatura, la velocidad de vaporización es tal que toda la superficie está cubierta con vapor, y el mecanismo de transferencia de calor es por conducción a través de la película de vapor. La velocidad de transferencia de calor disminuye hasta llegar a un mínimo y después vuelve a aumentar a diferencias de temperaturas aún más elevadas debido a que el calor se transmite por radiación.

El máximo flujo de calor alcanzable con la ebullición con nucleación se conoce como el flujo de calor crítico. El flujo crítico se alcanza con diferencias de temperatura sorprendentemente bajas; alrededor de 20 a 30 °C para el agua y de 20 a 50 °C para productos orgánicos ligeros.[3]

Este hecho implica que la temperatura del líquido que hierve en la caldera (agua) no puede tener una diferencia mayor de 20-30 °C con respecto a la del fluido caliente (en este caso, la disolución de nitrato amónico) ya que, en ese caso, la velocidad de transferencia de calor disminuirá.

En este proyecto se ha seleccionado una temperatura de 163 °C para el vapor generado en la caldera, es decir, se ha limitado a 15 °C la diferencia de temperatura con respecto a la disolución de nitrato amónico (a 178°C).

Tras la caldera está situado el concentrador de nitrato amónico. Se trata de un equipo donde hay una separación gas-líquido de la corriente de entrada al concentrador. El vapor asciende a lo largo del concentrador, entrando en contacto con un caudal de agua pulverizada desde lo alto del concentrador. Esta agua de lavado tiene como objeto eliminar los restos de ácido nítrico arrastrados por el vapor que asciende.

En el concentrador se ha de eliminar una cantidad de agua equivalente a la necesaria para concentrar la disolución hasta el 76 % en peso de nitrato amónico y compensar el agua de lavado.

La principal ventaja del sistema adoptado es que permite una mayor utilización de los vapores del concentrador. Operar a altas presiones proporciona unos vapores separados en el concentrador más utilizables debido a que poseen una mayor presión. Dicha presión les permite vencer mayores pérdidas de carga, además de que su entalpía

es mayor a altas presiones, por lo que hay un mayor transporte de energía por parte de la corriente de vapor.

Tras el lavado con agua en las duchas del concentrador, los vapores, pueden ser utilizados no solamente para el calentamiento de otros equipos, sino también para la generación de energía eléctrica en turbinas.

Para evitar que el vapor producido posea una fracción de amoníaco, se utiliza un caudal de ácido nítrico como reactivo superior al estequiométricamente necesario, manteniéndose una acidez libre en el sistema. Debido a ese mayor grado de corrosividad, el material de diseño de los equipos posee unas mayores exigencias en cuanto a corrosión.

9. Resultados finales

La planta está diseñada para una capacidad nominal de producción de nitrato amónico de 1.033 toneladas de nitrato amónico puro.

Las materias primas utilizadas son ácido nítrico al 60 % y amoniaco gaseoso puro.

La planta está concebida desde un punto de vista de protección del medio ambiente. Los vahos con mayor grado de contaminación provenientes de la etapa de neutralización son lavados, por ello el condensado de proceso que se produce en la condensación de estos vahos es menos contaminante.

9.1 Esquema de flujo y corrientes principales

En la *Figura 9.1* se muestra un esquema de flujo de la planta de producción de nitrato amónico. En él se muestran de forma simplificada y esquemática los principales equipos y corrientes de la planta. En el apartado de planos se muestran con más detalle los dispositivos de control y equipos mencionados en este apartado.

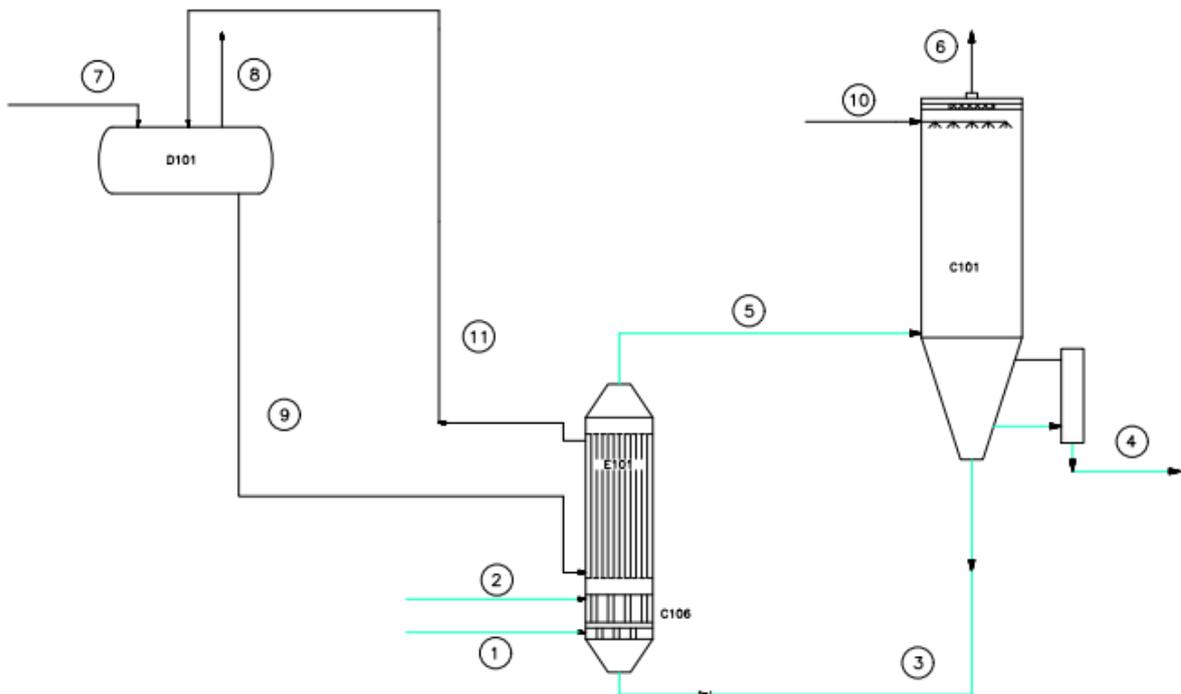


Figura 9.1 Esquema de flujo de la planta de producción de nitrato amónico

Las principales corrientes del sistema se muestran en la *Tabla 9.1*⁽³⁾. Su numeración está basada en la *Figura 9.1*.

Tabla 9.1 Corrientes principales del sistema: corrientes de ácido nítrico (1), amoníaco (2), recirculación (3) y producción de nitrato amónico (4).

Nº Corriente	1	2	3	4
Descripción	HNO_3	NH_3	Recirculación	Producción
$m_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{h} \right)$	-	9.157	-	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{h} \right)$	34.147	-	7.279	262
$m_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	22.765	-	370.847	13.330
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{h} \right)$	-	-	1.197.399	43.042
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	56.912	9.157	1.575.525	56.634
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	115	90	178	178
$P \left(\frac{kg}{cm^2 abs} \right)$	7,2	7,4	4	4

⁽³⁾ Los cálculos de las corrientes se han realizado a lo largo del Anexo 2.

En la *Tabla 9.2* se muestran las corrientes principales del sistema: la corriente de salida del reactor (5), la corriente de salida de vapor del concentrador (6), la corriente de entrada de agua al tambor (7), y la corriente de salida de vapor del tambor (8).

Tabla 9.2 Corrientes principales del sistema: corrientes de salida del reactor (5), salida de vapor del concentrador (6), entrada de agua al tambor (7), y salida de vapor del tambor (8).

Nº Corriente	5	6	7	8
Descripción	Salida Reactor	Salida Vapor Concentrador	Entrada Agua Tambor	Salida Vapor Tambor
$m_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{h} \right)$	-	-	-	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{h} \right)$	7.541	-	-	-
$m_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	393.612	11.935	10.487	10.487
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{h} \right)$	1.240.441	-	-	-
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	1.641.594	11.935	10.487	10.487
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	178	142,9	163	163
$P \left(\frac{kg}{cm^2} abs \right)$	4	4	10	6,8

La *Tabla 9.3* muestra las corrientes principales del sistema: la corriente de entrada de líquido a la caldera (9), la corriente de agua de lavado del concentrador (10) y la corriente de salida de vapor y líquido de la caldera (11).

Tabla 9.3 *Corrientes principales del sistema: corrientes de entrada de líquido a la caldera (9), agua de lavado del concentrador (10) y salida de vapor y líquido de la caldera (11)*

Nº Corriente	9	10	11
Descripción	Entrada Agua Caldera	Agua de Lavado	Salida vapor Caldera
$m_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{h} \right)$	-	-	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{h} \right)$	-	-	-
$m_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	10.487	2.500	10.487
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{h} \right)$	-	-	-
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	10.487	2.500	10.487
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	163	100	163
$P \left(\frac{kg}{cm^2} abs \right)$	6,8	4	6,8

9.2 Sistemas de Control de Proceso y Seguridades

En el presente proyecto se han propuesto una serie de elementos de control y seguridad para garantizar el correcto funcionamiento de la planta, desde el punto de vista de operación y seguridad de la misma.

Estos elementos de control y seguridad han sido diseñados de acuerdo con la función que han de desempeñar, del material adecuado y con el rango que abarque el rango normal de operación. Se ha previsto asimismo la actuación en caso de fallo de alguno o de todos los elementos de control, de forma que siempre llevan al sistema a su posición segura, que normalmente implica la parada de la planta.

El ácido nítrico y el amoniaco gaseoso se alimentan al reactor mediante una regulación de la proporción de mezcla donde el caudal de amoniaco sirve de valor guía.

El control del contenido de ácido nítrico libre en el reactor funciona mediante la regulación del valor de pH mediante el peachímetro pHT111 (Tabla 9.4). Esta regulación regula un pequeño flujo de ácido nítrico que pasa por un bypass hacia el reactor C106.

Tabla 9.4 Transmisores

Transmisor	Descripción
pHT111	Transmisor de pH en la recirculación. Material AISI 304L. Rango de medida 0-4 en la escala de pH. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
FT101	Transmisor de caudal de Amoniaco Gas al reactor. Material AISI 304L. Embridado con bridas DN200 planas. Tipo VORTEX. Rango de medida 0-10 t/h. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
FT103	Transmisor de caudal de Ácido Nítrico al reactor. Material AISI304L. Embridado con bridas DN150 planas. Tipo VORTEX. Rango de medida 0-70 t/h. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
FT107	Transmisor de caudal de condensado de proceso de lavado al reactor. Material AISI 304L. Embridado con bridas DN50 planas. Tipo VORTEX. Rango de medida 0-3.000 kg/h. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
PT125	Transmisor de presión del tambor de vapor. Material Acero al Carbono. Rango de medida 0-10 kg/cm ² . Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.

El valor medido en el caudalímetro de amoniaco FT101 es transmitido al control distribuido, donde se calcula el caudal teórico de ácido nítrico necesario para una proporción estequiométrica. El valor medido en el caudalímetro de ácido nítrico se compara con el valor teórico obtenido anteriormente, y el caudal se ajusta mediante la válvula FV103 (Tabla 9.5).

Tabla 9.5 Válvulas

Válvula	Descripción
pHV111	Válvula neumática de control de pH en la recirculación. Material AISI 304L. Embridada con bridas planas. DN50. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, cierra.
FV101	Válvula neumática de control de caudal de Amoniaco Gas al reactor. Material AISI 304L. Embridada con bridas planas. DN200. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, cierra.
FV103	Válvula neumática de control de caudal de Ácido Nítrico al reactor. Material AISI304L. Embridada con bridas planas. DN150. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, cierra.
PV125	Válvula neumática de control de Presión del tambor de vapor. Material Acero al Carbono. Embridada con bridas planas. DN150. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, abre.
PV126	Válvula neumática de control de Presión del reactor. Material AISI304L. Embridada con bridas planas. DN200. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, abre.

De forma paralela a esta regulación de la proporción entre el amoníaco y el ácido nítrico, también se lleva a cabo una regulación para proporcionar un ligero exceso de ácido nítrico respecto del estequiométrico (6 g de ácido nítrico libre por litro de disolución), que garantice que el nitrato amónico se forme a un pH ácido con el objetivo de que los vahos formados en la reacción no arrastren amoníaco. Este exceso de ácido nítrico libre es medido en el peachímetro pHT111 y regulado mediante la válvula pHV111, manteniendo constante el pH ligeramente ácido en la reacción. Dado que el ácido nítrico libre acelera las reacciones de descomposición del nitrato amónico, hay configurado un enclavamiento de parada de la reacción en caso de alcanzar un valor de 20 g de ácido nítrico libre por litro de disolución. Para la actuación inmediata de los distintos enclavamientos de seguridad de la planta hay válvulas de cierre rápido en la alimentación tanto del amoníaco (XV101) como del ácido nítrico (XV103) justo en la entrada al reactor C106. En caso de disparo del enclavamiento de exceso de acidez libre en el reactor, además del cierre de las mencionadas XV101 y XV103 (*Tabla 9.6*), se abre una inyección de amoníaco gaseoso al reactor mediante la válvula de apertura rápida XV102, con el objetivo de aminorar el exceso de ácido libre.

Tabla 9.6 Válvulas

Válvula	Descripción
LV107	Válvula neumática de control de Nivel del tambor de vapor. Material Acero al Carbono. Embridada con bridas planas. DN50. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, cierra.
LV109	Válvula neumática de control del concentrador. Material AISI304L. Embridada con bridas planas. DN200. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, cierra.
XV101	Válvula neumática de cierre rápido de entrada de Amoniaco Gas al reactor. Material AISI304L. Embridada con bridas planas. DN200. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, cierra.
XV102	Válvula neumática de apertura rápida de amonización al reactor. Material AISI304L. Embridada con bridas planas. DN50. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, abre.
XV103	Válvula neumática de cierre rápido de entrada de Ácido Nítrico al reactor. Material AISI304L. Embridada con bridas planas. DN150. PN20. Con asiento de teflón. Actuador neumático de simple efecto. Posicionador con transmisión digital 4-20 mA. A fallo de aire, cierra.

Tras la reacción, la temperatura en el sistema del reactor es de 178 °C a una presión de 4,0 kg/cm². La solución de Nitrato Amónico producida tiene una concentración del 76 %.

En régimen normal de trabajo, la solución de nitrato amónico se mantiene en recirculación por el efecto del termosifón en el sistema del reactor. En la entrada de la recirculación al reactor C106 se ha instalado una válvula de mariposa, para controlar el caudal de la recirculación modificando para ello la pérdida de carga del sistema.

La extracción del calor de la reacción tiene lugar inmediatamente tras el reactor C106, mediante el intercambio de calor indirecto con agua en una caldera E101 para

generar vapor. Este sistema de recuperación de calor está compuesto por una caldera de recirculación natural E101 y un tambor de vapor D101. Mediante la evaporación de agua en la caldera se extrae calor a la solución de nitrato amónico en recirculación, generándose vapor de agua saturado a $6,8 \text{ kg/cm}^2$.

Otro enfriamiento de la solución caliente de nitrato amónico en recirculación se produce por la evaporación de agua de la solución. En este proceso se liberan vahos de proceso recalentados a $4,0 \text{ kg/cm}^2$, que se separan del nitrato amónico en el concentrador C101. Estos vahos son enfriados en el concentrador mediante la inyección de agua de lavado. Tras atravesar un separador de gotas o demister, los vahos son enviados al sistema de vahos a $4,0 \text{ kg/cm}^2$ en estado saturado.

Se deben llevar a cabo análisis periódicos de laboratorio de todos los condensados de proceso, a fin de controlar la pérdida de amoniaco, ácido nítrico y nitrato amónico de cada etapa de evaporación y de reacción.

Las condiciones de presión y temperatura en el sistema del reactor de nitrato amónico se controlan mediante la válvula PV126, que exporta los vahos generados en el separador C101, manteniendo la presión constante en el reactor en $4,0 \text{ kg/cm}^2$. A esta presión los vahos son utilizables en otros puntos de proceso (etapas de concentración y calentamiento de materias primas). Se ha previsto un enclavamiento de seguridad de parada de planta si la presión llega a $4,5 \text{ kg/cm}^2$. La actuación de este enclavamiento es el cierre de las válvulas de cierre rápido en la entrada del amoniaco y ácido nítrico al reactor C106, y la acción de una válvula de apertura rápida que enviaría los vahos de reacción a la atmósfera provocando la despresurización inmediata del reactor.

El concentrador C101 opera a 4 kg/cm^2 de presión es de $178 \text{ }^\circ\text{C}$. La temperatura máxima de la solución de nitrato amónico tras el reactor ha de mantenerse en unos rangos, dado que las reacciones de descomposición del nitrato amónico se aceleran con la temperatura y esta descomposición puede resultar explosiva. Esto obliga a limitar la temperatura tras el reactor, lo cual se lleva a cabo en dos pasos:

- A) Si la temperatura de la disolución de nitrato amónico alcanza los $184 \text{ }^\circ\text{C}$ tras el reactor, se emite una alarma y se anula la actuación del controlador de presión de vapor en la caldera, con el objetivo de disminuir la temperatura de la disolución. Así el vapor es descargado a la atmósfera a través de la válvula PV125. Con ello se logra una mayor evaporación en la caldera E101,

disminuyendo la temperatura de la solución de nitrato amónico. Una vez que la temperatura baja a su valor normal, el control de la presión de vapor en la caldera se restablece.

B) Si a pesar de ello, la temperatura de la disolución de nitrato amónico alcanza los 186 °C se inicia la parada de la planta.

Los vahos a 4,0 kg/cm² provenientes de la etapa de neutralización a la salida del separador C101 y tras haber pasado por un separador de gotas (demister) tienen una temperatura de vapor saturado de 142,9 °C. Estos vahos servirán de medio calefactor para las etapas de concentración y precalentamiento de ácido nítrico.

El nivel de nitrato amónico líquido en el separador C101 del sistema de neutralización se regula mediante un controlador de nivel LT109 (*Tabla 9.7*). La solución ácida de nitrato amónico al 76 % a 178 °C que sale del separador C101 como producto es neutralizada con amoníaco gaseoso y enviada a las etapas de concentración.

Tabla 9.7 Transmisores

Transmisor	Descripción
PT126	Transmisor de Presión del reactor. Material AISI 304L. Rango de medida 0-10 kg/cm ² . Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
LT107	Transmisor de Nivel del tambor de vapor. Material Acero al Carbono. Rango de medida 0-1 m. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
LT109	Transmisor de Nivel del concentrador. Material AISI 304L. Rango de medida 0-1 m. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
TT115	Transmisor de Temperatura del reactor. Envainado en material AISI 304L. Rango de medida 0-300 °C. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
TT116	Transmisor de Temperatura del reactor. Envainado en material AISI 304L. Rango de medida 0-300 °C. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.
TT117	Transmisor de Temperatura del reactor. Envainado en material AISI 304L. Rango de medida 0-300 °C. Salida eléctrica 4-20 mA. PN20.

Para bajar la temperatura de los vahos obtenidos en el separador C101 del sistema de neutralización de 178 °C a 142,9 °C, se dosifican condensados limpios para lavado y saturación de dichos vahos. El caudal de condensados se ha de mantener en un valor que minimice las pérdidas de amoniaco y nitrato amónico arrastrado en los vahos, pero a su vez evitando una dilución excesiva del nitrato amónico.⁽⁴⁾

⁽⁴⁾ La nomenclatura utilizada para describir los equipos se muestra en el Plano N°2: Diagrama de Tuberías e Instrumentos.

9.3 Reactor y caldera

Tras el difusor de entrada de la recirculación se produce la acidificación de la corriente e inmediatamente posterior a la acidificación comienza la entrada a los tubos perforados del amoniaco y la reacción. La reacción comienza con la entrada del amoniaco y se completa a lo largo del interior de los tubos de la caldera.

Debido a la reacción entre el amoniaco y el ácido nítrico se forman un total de 43.041,67 kg/h de nitrato amónico, produciendo una potencia calorífica de 17.401 kW. Dicha potencia se emplea en:

- Elevar la temperatura del ácido nítrico y el amoniaco desde su temperatura de entrada hasta la temperatura de reacción (178 °C).
- Separar una parte del agua presente en la corriente para obtener una producción del 76 % en peso de nitrato amónico.
- Producir vapor. El excedente de potencia del sistema se emplea en producir vapor en una caldera. Se destina a este fin una potencia de 6.037 kW.

El intercambiador de calor diseñado es un intercambiador de calor de coraza y haz de tubos. Se trata de un termosifón vertical. Su finalidad es aprovechar los 6.037 kW de potencia destinados para producir un caudal de vapor de 10.847 kg/h.

La caldera estará formada por 205 tubos de acero inoxidable austenítico AISI 304L, de 4,105 m de longitud y 50 mm de diámetro nominal. Los tubos estarán dispuestos con una ordenación cuadrada y un pitch de 1,25. La carcasa tiene un diámetro interno de 1.372 mm y un diámetro externo de 1.406 mm, y está fabricada también en AISI 304L.

La ficha de datos de diseño completa de la caldera se recoge en la *Tabla 9.8.*⁽⁵⁾

⁽⁵⁾ Todos los cálculos relacionados con la caldera se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 9.8 Ficha de datos de diseño de la caldera

Ficha de datos de diseño de la caldera	
$q_{caldera}(kW)$	6.037
$U_0 \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	2.590
$A (m^2)$	159,3
N_t	205
$h_i \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	7.343
$h_o \left(\frac{W}{m^2 \cdot K} \right)$	7.417
$\Delta T(K)$	15
$k_t \left(\frac{W}{m \cdot K} \right)$	23,05
$e_t (mm)$	2,3
$D_o(mm)$	60,3
$D_i(mm)$	55,7
$D_b(mm)$	1.350
$D_{i,c}(mm)$	1.372
$D_{o,c}(mm)$	1.406
$L (m)$	4,105

Además de la ficha de datos de diseño principal de la caldera se adjunta una ficha de datos de datos secundarios de diseño (Tabla 9.9), consistente en los principales caudales volumétricos, densidades y velocidades.

Tabla 9.9 Ficha de datos secundaria de la caldera

Ficha de datos secundaria	
$m_5 \left(\frac{kg}{h} \right)$	1.641.594
$m_{vap,e} \left(\frac{kg}{h} \right)$	21.515
$x_e (\%)$	1,31
$\rho_{liq,e} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1.302,4
$Q_{liq,e} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	1243,9
$Q_{vap,e} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	9.586,8
$\rho_e \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	151,6
$v_e \left(\frac{m}{s} \right)$	6
$m_{vap,s} \left(\frac{kg}{h} \right)$	10.462
$x_s (\%)$	0,64
$\rho_{liq,s} \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	1.299,8
$Q_{liq,s} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	1.255
$Q_{vap,s} \left(\frac{m^3}{h} \right)$	5.553,3
$\rho_s \left(\frac{kg}{m^3} \right)$	241,1
$v_s \left(\frac{m}{s} \right)$	3,78

Como soporte de la caldera, se diseña un tambor de vapor con un volumen equivalente al volumen de líquido total en la coraza del intercambiador, descontando el volumen de ocupado por los tubos, con unas dimensiones de 1,536 m de diámetro por 2,036 m de longitud.

9.4 Conducciones y accesorios

Las conducciones y accesorios del sistema son todas de acero inoxidable austenítico AISI 304 L (DIN 14 306) con distintos tamaños en función del caudal de fluido que transportan y la presión a la que se diseñan. La única excepción la componen las conducciones de agua a la caldera y vapor de la misma, que son de acero al carbono, también con tamaños calculados para los caudales que vehiculan y la presión de diseño. El diseño de las conducciones se ha realizado en conformidad con la normativa UNE-EN 13480-3: *Tuberías metálicas industriales. Parte 3: Diseño y cálculo*.

El reactor cuenta con una corriente de recirculación de nitrato amónico para amortiguar el incremento térmico debido al elevado calor desprendido de la reacción, mediante una conducción DN500 (*Tabla 9.10*). A la corriente de recirculación se le une el ácido nítrico al 60 %, el cual entra por una tubería de diámetro normalizado DN150. Tras acidularse, la corriente de recirculación, entra en el reactor C106.

Tabla 9.10 Principales características geométricas de tramos rectos y codos del sistema

Descripción	D_i (mm)	e (mm)	D_o (mm)	L (mm)	DN (mm)
Codo superior	495,4	6,3	508	-	500
Tubería superior	495,4	6,3	508	2.395	500
Tuberías inferiores	495,4	6,3	508	4.974/ 1.100/ 1.100	500
Codos inferiores	495,4	6,3	508	-	500

El reactor está diseñado como un intercambiador de calor de carcasa y tubos verticales perforados. La carcasa tiene un diámetro interno de 1.372 mm, y los tubos de 55,7 mm, en número de 205. La recirculación entra por el interior de los tubos, mientras que el amoniaco es alimentado a la carcasa desde una conducción DN200 (*Tabla 9.11*). El Amoniaco atraviesa las perforaciones de los tubos entrando en contacto con la recirculación acidulada previamente, momento en que tiene lugar la reacción química de

neutralización entre el ácido nítrico y el amoníaco, convirtiéndose en nitrato amónico y vapor de agua, incrementándose la temperatura. El vapor producido en la reacción (denominado vahos) arrastra al resto de componentes hacia arriba por efecto de termosifón.

Tabla 9.11 Principales características geométricas de conducciones y accesorios del reactor y la caldera

Descripción	D_i (mm)	e (mm)	D_o (mm)	L (mm)	DN (mm)
Tobera de salida de la caldera	-	6,3	-	860	-
Lado tubos caldera	55,7	2,3	60,3	4.105	50
Lado coraza caldera	1.372	17	1.406	4.105	-
Reactor C106	1.372	6,3	1.406	932,5	-
Entrada NH ₃	210,1	4,5	219	-	200
Entrada HNO ₃	160,3	4	168	-	150
Difusor antes caldera	-	6,3	-	1.370	-

Tras abandonar el reactor, la mezcla de nitrato amónico y vahos entran en los tubos de una caldera de producción de vapor E101, de carcasa y tubos verticales, donde en la carcasa se alimenta agua desmineralizada que se evapora produciendo vapor limpio. Tanto el agua como el vapor se mantienen en recirculación natural con un tambor de vapor D101, situado por encima de la caldera para asegurar que está tiene siempre el 100 % de la superficie exterior de los tubos mojados, para garantizar la máxima eficacia de generación de vapor. La carcasa de la caldera tiene un diámetro externo de 1.406 mm, y los tubos de 60,3 mm, en número de 205. Al tambor de vapor le llega el agua por una conducción de DN50, mientras que el vapor sale del mismo por una conducción DN150 (Tabla 9.12).

Tabla 9.12 Principales características geométricas de conducciones y accesorios del tambor

Descripción	D_i (mm)	e (mm)	D_0 (mm)	L (mm)	DN (mm)
Tambor	1.500	18	1.536	2.036	-
Salida de Vapor	160,3	4	168	150	150
Entrada de líquido	55,7	2,3	60,3	50	50
Tuberías finas salida caldera	393,8	6,3	406	2.000	400
Tuberías gruesas salida caldera	584,6	12,5	610	1.503/ 3.170,7	600
Tuberías finas entrada caldera	210,1	4,5	219	2.000	200
Tuberías gruesas entrada caldera	312,7	5,6	324	1.503/ 3.170,7	300

Tras eliminar parte del calor de la reacción en la caldera, la mezcla de nitrato amónico y vahos abandonan la caldera por una conducción DN500 y entran al Concentrador C101. Este concentrador no es sino un separador ciclónico, donde el nitrato amónico líquido se va a la parte inferior y los vahos separados ascienden a la superior. El diámetro interno del concentrador es de 2 m.

Del concentrador salen dos corrientes líquidas: la primera es la recirculación a través de una conducción DN500 que va a entrar de nuevo al reactor, la segunda es la producción de nitrato amónico al 76 % a través de una conducción de tamaño DN150.

En el concentrador, los vahos separados ascienden y son lavados y des-recalentados mediante la inyección de agua de lavado que entra por la parte superior a través de unos aspersores. La conducción de agua de lavado es de un tamaño DN50. Los

vahos limpios y des-re calentados salen por la parte superior del concentrador por una conducción de tamaño DN200 (Tabla 9.13).⁽⁶⁾

Tabla 9.13 Principales características geométricas de conducciones y accesorios del concentrador

Descripción	D_i (mm)	e (mm)	D_o (mm)	L (mm)	DN (mm)
Concentrador C101	2.000	11	2.022	6.100	-
Tobera del concentrador	-	11	-	2.800	-
Producción de NH_4NO_3	107,9	3,2	114	-	100
Vahos Concentrador	210,1	4,5	219	-	200

⁽⁶⁾ Todos los detalles constructivos se visualizan en el Plano N°3: Tuberías y Equipos.

9.5 Ubicación

El proyecto es para una instalación de la empresa Fertiberia S.A, dicha instalación se emplaza en el Polígono Industrial Sur, dentro del terreno de la autoridad portuaria de Sagunto, en el Puerto de Sagunto.

La *Figura 9.2* muestra la ubicación de Fertiberia S.A a nivel estatal.



Figura 9.2 Ubicación de Fertiberia S.A a nivel estatal

La *Figura 9.3* muestra la ubicación de Fertiberia S.A en la comunidad valenciana.

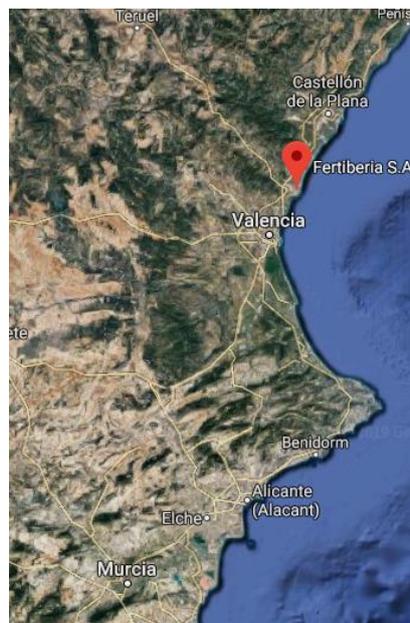


Figura 9.3 Ubicación de Fertiberia S.A. en la comunidad valenciana

La *Figura 9.4* muestra la ubicación de Fertiberia S.A en la localidad de Sagunto.

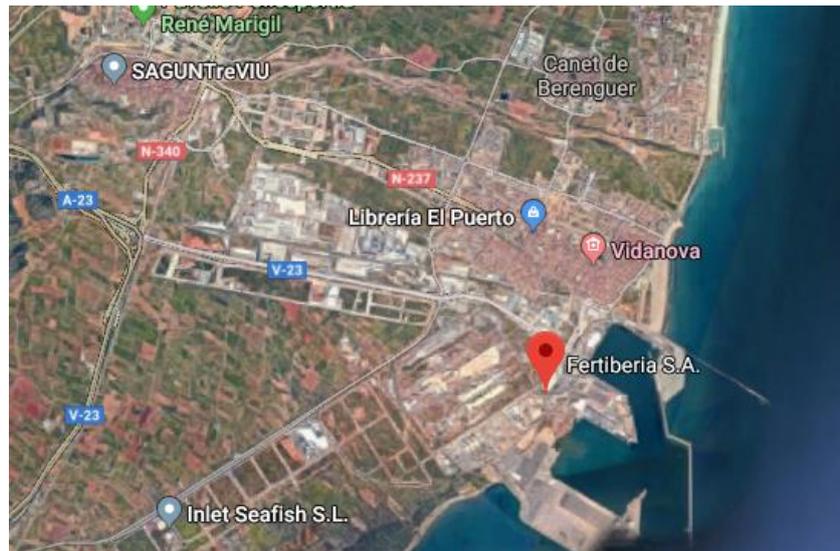


Figura 9.4 *Ubicación de Fertiberia S.A. en la localidad de Sagunto*

10. Planificación

Para la correcta ejecución del presente proyecto, se han de considerar distintas etapas que es necesario abordar, así como la secuencia lógica de las mismas, incluyendo los hitos que marcan el paso entre cada etapa.

Las etapas en que se divide el presente proyecto son las siguientes:

1. *Diseño y desarrollo.*

En esta etapa se llevarán a cabo los cálculos de ingeniería para el correcto diseño de los nuevos equipos. Se realizarán visitas a planta para realizar las mediciones necesarias para llegar al diseño de los equipos, tuberías y sistemas de control a escala constructiva. Se elaborarán aquí planos de proceso, planos de tuberías e instrumentos, planos constructivos de cada nuevo equipo, planos isométricos para la correcta ejecución de las tuberías de interconexión. Por último, se prepararán los dossiers de cálculo y los anteproyectos que sirvan para legalizar los equipos a presión ante la delegación de industria, así como para la correspondiente solicitud de licencia de obras al municipio correspondiente. La duración de esta etapa se ha estimado en 3 meses.

2. *Solicitud de ofertas.*

Una vez que se disponen de planos del proyecto a un nivel de detalle constructivo, con listados del material necesario y de las necesidades de ejecución, se redactarán requisiciones técnicas agrupadas para las siguientes partidas del proyecto:

- Obra Civil
- Materiales para montaje mecánico
- Montaje mecánico
- Materiales para montaje eléctrico
- Montaje eléctrico e instrumentación
- Pruebas radiográficas, hidrostáticas, etc.
- Aislamiento térmico.

Con las requisiciones preparadas y el listado de materiales o trabajos a realizar, se solicitarán ofertas de cada partida indicada anteriormente, al menos a tres proveedores de dichos materiales o servicios, instándoles a que las presenten en un plazo máximo de 1 mes. Transcurrido el plazo indicado se abrirán las ofertas recibidas de cada grupo y se realizará una comparativa técnica y económica, de donde se encontrará al proveedor más idóneo para cada uno. A continuación, se emitirá al proveedor seleccionado el contrato o pedido de materiales, según el caso.

3. Acopio de materiales

Una vez que le llega el pedido de materiales a los proveedores seleccionados comienza el plazo establecido por los mismos para el suministro completo de cada una de las partes solicitadas. Dado que en este proyecto hay muchos elementos en acero inoxidable 304L, así como elementos de instrumentación que no suelen estar disponibles en stock de los proveedores, se estima el plazo de acopio de materiales en 3 meses.

4. Montaje mecánico y eléctrico

Conforme se vayan recepcionando los materiales mecánicos, el proveedor de montaje mecánico puede ir comenzando la construcción de los equipos y la pre-construcción de las tuberías con sus accesorios, siempre de acuerdo a los planos constructivos y a las isométricas de tuberías entregadas. Una parte de este trabajo se realiza en el taller del proveedor y otra se ha de realizar en campo. Esta fase suele solapar parcialmente con la de acopio de materiales, y supondremos que, de los 3 meses de duración, puede solapar 1 mes con la de acopio de materiales.

Respecto del montaje eléctrico, este se lleva a cabo casi íntegramente en planta, pero se puede aplicar la misma regla que al montaje mecánico, suponiendo un solape de 1 mes, aunque con el hándicap de que varias fases del montaje de la instrumentación requieren que ya esté terminado completamente el montaje mecánico, por lo que supondremos un retraso de un mes respecto de la terminación del montaje mecánico.

5. *Comisionado previo a la puesta en marcha*

A la finalización del montaje mecánico y eléctrico se ha de realizar un comisionado, o comprobación de los requisitos establecidos en la fase de diseño. El contratista que realiza esta función suele ser un organismo colaborador de la administración, que se encarga de comprobar que la construcción de los equipos y tuberías ha sido realizada con arreglo a los planos elaborados, que los materiales cumplen con los requisitos establecidos, que los elementos mecánicos, los eléctricos y la instrumentación están instalados en su lugar correcto, que cumplen las especificaciones establecidas y que están plenamente operativos. Se comprobará que los elementos de seguridad están instalados e implantados, tanto a nivel de campo como de configuración en el control distribuido. Igualmente, los manuales de proceso y los procedimientos de puesta en marcha y paro del sistema, o cualquier procedimiento necesario para la correcta ejecución de alguna operación intermedia, se comprobará que han sido elaborados y que el personal de operación ha recibido adiestramiento sobre ellos. De todo ello se emitirá un informe con las anomalías detectadas. Se estima que esta fase se realizará en 15 días.

6. *Puesta en marcha.*

Tras la etapa de comisionado se ejecutará la fase definitiva de puesta en marcha. Para ello las tuberías y equipos se barrerán con agua o nitrógeno a presión, dependiendo de si va a vehicular un líquido o un gas, de forma que se limpia el interior de los mismos y se comprueba el funcionamiento de los transmisores de Presión, temperatura, caudal, etc. Tras este barrido, se elimina el agua por desplazamiento con nitrógeno y se comienza a poner en marcha la planta, siguiendo los pasos establecidos en el procedimiento de puesta en marcha. Una vez alcanzado el 100 % del régimen de diseño de la planta se procederá a la última fase:

7. *Verificación del cumplimiento de los requisitos del proyecto*

Se comprobará que la planta alcanza la producción esperada con la calidad establecida para lo que se chequeará:

- Si se alcanza el 100 % de funcionamiento de la planta, en cuanto a caudal de nitrato amónico y concentración del mismo.
- Si la versatilidad de la planta es la estimada, pudiendo operar entre el 30 y el 110 % de la capacidad nominal.
- Si la generación de vapor en la caldera es la esperada en cuanto a caudal y presión.
- Si la generación de vahos en el separador es la esperada en cuanto a caudal, presión y presencia de contaminantes.
- Si las temperaturas de trabajo del sistema de reacción se encuentran dentro del margen de seguridad.
- Si las reacciones de descomposición del nitrato amónico se encuentran en el rango esperado (0,3 %)

Se estima que las fases 6 y 7 se llevarán a cabo en unos 15 días.

El desarrollo temporal del proyecto completo, con la indicación de tiempos parciales de cada una de las fases mencionadas anteriormente, se puede apreciar en el siguiente cronograma (*Figura 10.1*):

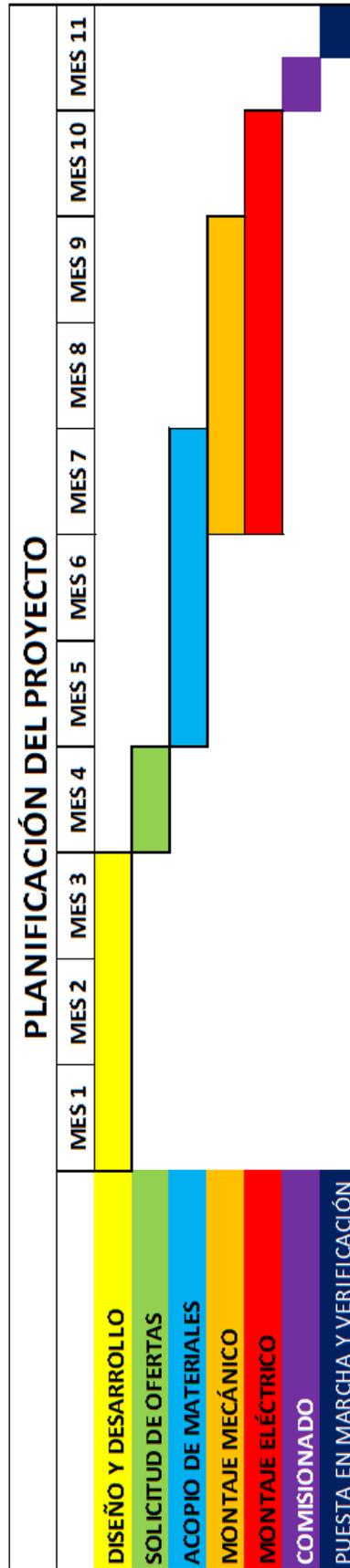


Figura 10.1 Planificación del proyecto

11. Orden de prioridad entre los documentos básicos

De acuerdo con lo establecido en la norma UNE 157001 de 2014, el orden de prioridad entre los documentos que constituyen un proyecto técnico es el siguiente:

1. Índice General
2. Memoria
3. Anexos a la memoria
4. Planos
5. Pliego de Condiciones
6. Estado de Mediciones
7. Presupuesto

Sin embargo, para este proyecto, se realizarán en un único documento los apartados 6 y 7 anteriormente citados con el fin de facilitar la comprensión de ambos. El apartado portará el nombre conjunto de:

6. Estado de Mediciones y Presupuesto

12. Estudio de viabilidad económica

12.1 Inversión Inicial

El reactor de nitrato amónico ha sido diseñado para su instalación en la actual planta de fabricación de FERTIBERIA, en el Puerto de Sagunto.

El proyecto se centra en las etapas de reacción y concentración inicial, con los siguientes equipos diseñados (*Tabla 12.1*):

Tabla 12.1 Equipos principales del sistema

C106	REACTOR DE NITRATO AMÓNICO
C101	SEPARADOR CONCENTRADOR
E101	CALDERA DE PRODUCCIÓN DE VAPOR
D101	TAMBOR DE VAPOR

Se ha incluido asimismo todos los elementos necesarios para el correcto funcionamiento y operación de la sección de la planta diseñada, tanto las tuberías como las válvulas (manuales y automáticas), transmisores de caudal, presión, temperatura, pH, etc., y su interconexión.

El resumen de la inversión inicial para el proyecto se puede apreciar en la *Tabla 12.2*:⁽⁷⁾

Tabla 12.2 Resumen de la inversión inicial

Inversión Sección Mecánica	340.000 €
+Inversión Sección Eléctrica	175.000 €
+Inversión Otros Gastos	70.000 €
<i>Total Inversión Inicial</i>	<i>590.000 €</i>

⁽⁷⁾ La inversión inicial total y cada una de sus partes se detallan en el documento Estado de Mediciones y Presupuesto.

12.2 Bases de cálculo para la estimación de la viabilidad económica

El reactor de nitrato amónico objeto del presente trabajo ha sido diseñado para una producción continua de 1.033 t de nitrato amónico al 100 % durante 330 días al año, es decir asumiendo que se realizará una parada anual de mantenimiento de unos 35 días de duración.

Esto significa una producción anual de nitrato amónico de 340.890 t, para lo que se necesitan 270.600 t de Ácido Nítrico y 72.930 t de amoniaco, obteniendo como subproducto 83.057 t de vapor de 6,8 kg/cm² para su consumo en otros puntos de la planta (*Tabla 12.3*).

Tabla 12.3 Producción anual de nitrato amónico y vapor y consumo de ácido nítrico y amoniaco anuales

Ácido Nítrico	270.600 t/año
Amoniaco	72.930 t/año
Nitrato Amónico	340.890 t/año
Vapor	83.057 t/año

Los precios unitarios de las materias primas y del producto final se han estimado de acuerdo con las hojas de costes de la fábrica de Fertiberia S.A de Sagunto del mes de mayo de 2019, y las estimaciones FERTECON de ventas de fertilizantes en la Unión Europea para el segundo trimestre del año 2019 (*Tabla 12.4*):

Tabla 12.4 Precios unitarios del ácido nítrico, amoniaco y nitrato amónico

Ácido Nítrico	109 €/t
Amoniaco	312 €/t
Nitrato Amónico	170 €/t

El coste del vapor generado se ha estimado como el coste de producir esa cantidad de vapor con la caldera auxiliar de la fábrica de Fertiberia S.A, consumiendo Gas Natural para producirlo, con un coste para el Gas Natural de 18,545 €/MW·h. Con ello, el precio

unitario estimado del vapor generado en la caldera del reactor de nitrato amónico es de (Tabla 12.5):

Tabla 12.5 Precio unitario estimado del vapor como producto

Vapor	33,94 €/t
--------------	-----------

12.3 Gasto anual estimado

Se incluye en este apartado el coste de las materias primas consumidas anualmente, y el coste de un operador de la planta (se estima en 30.000 € anuales). No se cuentan gastos de energía eléctrica ni otros, pues las bombas pertenecen a las plantas de cabecera de FERTIBERIA y en el coste ya ha sido incluido el bombeo hasta las plantas de consumo (Tabla 12.6 y Tabla 12.7).

Tabla 12.6 Costes anuales estimados

	Consumo diario $\left(\frac{t}{\text{día}}\right)$	Consumo anual $\left(\frac{t}{\text{año}}\right)$	Coste unitario $\left(\frac{€}{t}\right)$	Coste anual $\left(\frac{€}{\text{año}}\right)$
Ácido Nítrico	820	270.600	109	29.495.400
Amoniaco	221	72.930	312	22.754.160

En la Tabla 12.7 se muestra el gasto anual total incluyendo el gasto de personal.

Tabla 12.7 Total de gasto anual

Total Gastos materias primas	52.249.560 €
Gastos de personal	30.000 €
Total gastos anuales	52.279.560 €
<u>Total Gasto Anual</u>	52.279.560 €

12.4 Ingresos anuales estimados

Se incluyen en este apartado los ingresos por la venta del nitrato amónico y el ahorro de consumo de gas natural para producir vapor, dado que este se produce como subproducto de la planta de nitrato amónico (*Tabla 12.8* y *Tabla 12.9*).

Tabla 12.8 *Ingresos anuales*

	Producción diaria $\left(\frac{t}{\text{día}}\right)$	Producción anual $\left(\frac{t}{\text{año}}\right)$	Ingreso unitario $\left(\frac{€}{t}\right)$	Ingresos anuales $\left(\frac{€}{\text{año}}\right)$
Nitrato Amónico	1.033	340.890	148	50.451.720
Vapor	251	83.057	33,94	2.818.955

En la *Tabla 12.9* se muestra el gasto anual total.

Tabla 12.9 *Ingresos anuales totales*

Total Ingresos variables	53.270.676 €
<u>Total Ingresos Anuales</u>	53.270.676 €

12.5 Cálculo de la rentabilidad del proyecto

Una vez calculada la inversión necesaria para el proyecto, y los gastos e ingresos anuales que reportará el mismo, procederemos a calcular tres índices de referencia para estimar la rentabilidad de la inversión:

- El Período de Retorno (PR)
- El Valor Actual Neto (VAN)
- La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)

Para el cálculo de esos tres índices, hemos de calcular previamente una serie de parámetros intermedios para cada uno de los años en que se estima que se amortizará la inversión. Estos parámetros intermedios son:

El **Beneficio Bruto (B_b)**, se define como la diferencia entre los ingresos anuales y la suma de los gastos y las amortizaciones en el mismo período.

El **Beneficio Neto (B_n)**, definido como el Beneficio Bruto menos el pago realizado por el impuesto de sociedades.

El **Flujo de Caja (FC)**, definido como el Beneficio Neto más las Amortizaciones.

El **Flujo de Caja actualizado (FC_a)**, definido como el flujo de caja al valor del año de la inversión inicial, contando un interés de referencia constante a lo largo de los años de la amortización de la inversión.[4]

En la *Tabla 12.10* se muestran los datos de partida para el cálculo de la rentabilidad del proyecto:

Tabla 12.10 Datos de partida para el cálculo de la rentabilidad del proyecto

Inversión Inicial	590.000 €
Gastos Anuales	52.279.560 €
Período de Amortización	10 años
Ingresos Anuales	53.270.676 €
Impuesto de Sociedades	25 %
I.P.C	2,5 %
Tipo Interés Nominal	10,0 %
Interés de Referencia	4,0 %

Con esos datos se calculan los parámetros intermedios, que se muestran en la *Tabla 12.11* y la *Tabla 12.12* (todos los conceptos económicos están expresados en euros):

Tabla 12.11 *Cálculo del gasto, amortización e ingreso anuales*

Año	Gastos (€)	Amortizaciones (€)	Ingresos (€)
1	52.279.560	59.000	53.270.676
2	53.586.549	60.475	54.602.442,8
3	54.926.212,73	61.986,88	55.967.503,91
4	56.299.368,04	63.536,55	57.366.691,50
5	57.706.852,24	65.124,96	58.800.858,79
6	59.149.523,55	66.753,08	60.270.880,26
7	60.628.261,64	68.421,91	61.777.652,27
8	62.143.968,18	70.132,5	63.322.093,58
9	63.697.567,38	71.885,77	64.905.145,91
10	65.290.006,57	73.682,92	66.527.774,56

En la *Tabla 12.12* se muestra el cálculo del beneficio bruto beneficio neto, flujo de caja y flujo de caja actualizado por año.

Tabla 12.12 Cálculo del beneficio bruto, beneficio neto, flujo de caja y flujo de caja actualizado.

Año	B _b (€)	B _n (€)	FC (€)	FC/(1+i _r) ⁿ (€)
1	932.116	699.087	758.087	728.929,76
2	955.418,8	716.564,13	777.039,13	718.416,35
3	979.304,31	734.478,23	796.465,11	708.054,6
4	1.003.786,91	752.840,19	816.376,73	697.842,25
5	1.028.881,6	771.661,2	836.786,15	687.777
6	1.054.603,63	790.952,72	857.705,80	677.857,36
7	1.080.968,72	810.726,54	879.148,45	668.080,57
8	1.107.992,94	830.994,70	901.127,16	658.444,79
9	1.135.692,76	851.769,57	923.655,34	648.947,99
10	1.164.085,08	873.063,81	946.746,72	639.588,16

Con los parámetros intermedios anteriormente calculados, se puede ya estimar los tres parámetros de rentabilidad del proyecto:

- El Período de Retorno (PR), definido como (*Ecuación 11*):

$$PR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{FC_{\text{promedio anual}}} \quad (11)$$

En nuestro caso se extrae un valor de (*Tabla 12.13*):

Tabla 12.13 Periodo de retorno

PR (año)	0,69
-----------------	------

- El Valor Actual Neto (VAN), definido como (*Ecuación 12*):

$$VAN = \sum \left(\frac{FC}{(1 + i_r)^n} \right) - Inversión Inicial \quad (12)$$

En nuestro caso se obtiene un valor de (*Tabla 12.14*):

Tabla 12.14 Valor actual neto

VAN (€)	6.243.939,1
----------------	-------------

- La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR), definida como el valor del interés de referencia que hace el VAN igual a cero. En nuestro caso se obtiene un TIR con valor de (*Tabla 12.15*):

Tabla 12.15 Tasa interna de retorno

TIR	1,31
------------	------

De los valores obtenidos en los tres índices de rentabilidad calculados se puede concluir que **la rentabilidad del proyecto abordado es muy elevada.**

3. ANEXOS

Índice

1.	Anexo 1: Datos de partida	6
1.1	Propiedades de las corrientes	6
1.1.1	Disolución de ácido nítrico.....	7
1.1.2	Corriente de amoniaco gaseoso	11
1.1.3	Disolución de nitrato amónico.....	13
1.1.4	Corrientes de agua	23
1.1.5	Entalpía de reacción y entalpía de disolución	37
2.	Anexo 2: Cálculo de las corrientes del sistema	39
2.1	Temperatura de trabajo del sistema	40
2.2	Corrientes de partida.....	42
2.3	Cálculo de la entalpía y la potencia de reacción	46
2.3.1	Cálculo de los calores específicos	46
2.3.2	Entalpía de reacción.....	48
2.3.3	Potencia Generada por el Reactor	49
2.4	Corriente de recirculación	50
2.4.1	Elevación de temperatura máxima en el sistema reactivo.....	50
2.4.2	Caudal de Recirculación.....	53
2.4.3	Composición de la recirculación	56
2.4.4.	Condiciones de salida del reactor	58
2.5	Concentrador de nitrato amónico.....	59
2.5.1	Definición de la corriente de producción	60
2.5.2	Cantidad de agua eliminada en el concentrador	60
2.6	Potencia de la caldera y caudal de vapor producido	62
2.6.1	Potencia de la caldera	62

2.6.2 Caudal de vapor producido en la caldera.....	68
3. Anexo 3: Diseño del sistema de intercambio de calor.....	69
3.1 Calor intercambiado.....	71
3.2 Área global de transferencia de calor.....	71
3.3 Escoger diámetro de los tubos y longitud.....	71
3.3.1 Material.....	71
3.3.2 Tuberías normalizadas.....	73
3.3.3 Tubos de la caldera.....	75
3.3.4 Dimensionamiento de los tubos de la caldera.....	77
3.3.5 Dimensionamiento de la coraza de la caldera.....	78
3.4 Ratio de recirculación.....	82
3.5 Caudales volumétricos, densidades y velocidades del líquido y del vapor.....	82
3.5.1 Entrada.....	82
3.5.2 Salida.....	86
3.6 Presión disponible.....	91
3.7 Pérdida de presión.....	94
3.7.1 Tubos.....	94
3.7.2 Ensanchamiento y Constricción.....	96
3.7.3. Pérdida de presión por aceleración.....	98
3.7.4 Más Pérdidas.....	100
3.8 Coeficientes individuales de transferencia de calor.....	115
3.8.1 Lado Coraza.....	116
3.8.2 Lado Tubos.....	117
3.9 Coeficiente de transferencia de calor global.....	122
4. Anexo 4: Dimensiones de los equipos restantes.....	127
4.1 Tambor de vapor.....	127

4.1.1 Tuberías finas de salida de la caldera	129
4.1.2 Tuberías gruesas de salida de la caldera	130
4.1.3 Tubería fina de entrada a la caldera.....	131
4.1.4 Tubería gruesa de entrada a la caldera.....	132
4.1.5 Otras Tuberías	134
5. Anexo 5: Ficha de datos de seguridad de las sustancias.....	135

1. Anexo 1: Datos de partida

El sistema de reacción se diseña para una producción de nitrato amónico de 1.033 t/día. Para ello, se dispondrá de:

- a) una disolución acuosa de ácido nítrico al 60 % en peso que entra al reactor a 115 °C.
- b) una corriente gaseosa de amoníaco puro que entra al reactor a una temperatura de 90 °C.

La disolución de nitrato amónico que saldrá del sistema de reacción tendrá una concentración del 76% y en ningún punto del sistema se superará la temperatura de 210 °C, que corresponde a la descomposición explosiva del nitrato amónico (NA).

La reacción se lleva a cabo entre amoníaco gaseoso y disolución de ácido nítrico al 60% para producir nitrato amónico en solución acuosa, en una reacción fuertemente exotérmica. El sistema de reacción operará a la presión de 4 kg/cm² absolutos.

1.1 Propiedades de las corrientes

Para realizar los balances de materia y energía es necesario conocer el calor específico de la disolución de ácido nítrico, del amoníaco gas y de las disoluciones de nitrato amónico de distinta concentración.

Para diseñar la caldera termosifón, es necesario además disponer de la viscosidad, la tensión superficial y la conductividad de la disolución de nitrato amónico y del agua, así como de las entalpías de vaporización del agua a distintas presiones y temperaturas.

Así como en el cálculo de los caudales en múltiples ocasiones se redondean los decimales, para el cálculo de algunas propiedades físicas como los calores específicos se utilizan en ocasiones hasta 5 decimales, puesto que, para grandes cantidades de caudales másicos, la precisión de los decimales es necesaria.

1.1.1 Disolución de ácido nítrico

1.1.1.1 Calor Específico del ácido nítrico

A continuación, se calcula el calor específico de la disolución de ácido nítrico al 60 % en peso, cuyos valores a distintas temperaturas, que se muestra en la *Tabla 1.1.*[5]

Tabla 1.1. Calor específico de una mezcla al 60 % en peso de ácido nítrico en función de la temperatura.

$T(^{\circ}C)$	$T(K)$	$C_p \left(\frac{kcal}{kg \cdot ^{\circ}C} \right)$	$C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C} \right)$
50	10	0,634	2,65443
60	15,6	0,638	2,67118
70	21,1	0,643	2,69211
80	26,7	0,648	2,71305
90	32,2	0,652	2,72979
100	37,8	0,656	2,74654
110	43,3	0,661	2,76747
120	48,9	0,665	2,78422
130	54,4	0,668	2,79678
140	60	0,673	2,81772
150	65,6	0,677	2,83446

Al representar los datos se obtiene la correlación lineal representada en la *Figura 1.1*.

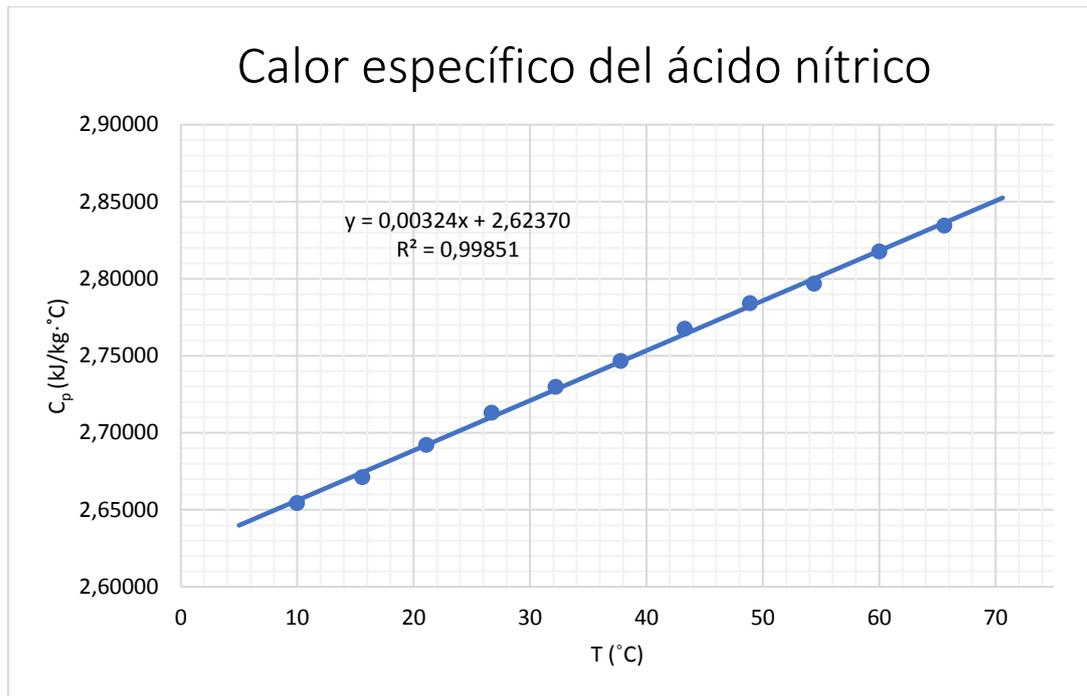


Figura 1.1 Calor específico de la mezcla de ácido nítrico al 60 % frente a la temperatura

El ajuste obtenido nos proporciona la *Ecuación 13*.

$$C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = 0,00324 \cdot T \text{ (} ^\circ C \text{)} + 2,62370 \quad (13)$$

Dicha correlación (*Ecuación 13*) obtenida tiene validez de uso para disoluciones de ácido nítrico al 60% en peso para un rango de temperaturas de entre 3 y 66 °C, pero, dada la tendencia lineal que describe el calor específico de la disolución con la temperatura, se considerará válida también a valores de temperatura superiores.

Para 115 °C, el valor de calor específico que se obtiene para el ácido nítrico al 60 % es:

$$C_p = 2,9964 \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$$

1.1.1.2 Conductividad térmica del ácido nítrico

En la *Tabla 1.2* se recogen figuran los datos de conductividad térmica del ácido nítrico puro.[6]

Tabla 1.2 Conductividad del ácido nítrico a varias temperaturas

$T(K)$	$k\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$T(K)$	$k\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	$T(K)$	$k\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$
233,15	0,24667	301,15	0,28312	369,15	0,319839
237,15	0,248801	305,15	0,285276	373,15	0,321997
241,15	0,250934	309,15	0,287433	377,15	0,324154
245,15	0,253069	313,15	0,289592	381,15	0,32631
249,15	0,255205	317,15	0,291751	385,15	0,328464
253,15	0,257343	321,15	0,29391	389,15	0,330616
257,15	0,259483	325,15	0,296071	393,15	0,332767
261,15	0,261625	329,15	0,298231	397,15	0,334916
265,15	0,263768	333,15	0,300392	401,15	0,337063
269,15	0,265912	337,15	0,302554	405,15	0,339207
273,15	0,268058	341,15	0,304715	409,15	0,341349
277,15	0,270206	345,15	0,306877	413,15	0,343488
281,15	0,272355	349,15	0,309038	417,15	0,345624
285,15	0,274506	353,15	0,3112	421,15	0,347758
289,15	0,276657	357,15	0,31336	425,15	0,349888
293,15	0,27881	361,15	0,315521	429,15	0,352014
297,15	0,280965	365,15	0,31768	433,15	0,354137

A partir de representar los datos de la *Tabla 1.2* se obtiene la *Figura 1.2*.

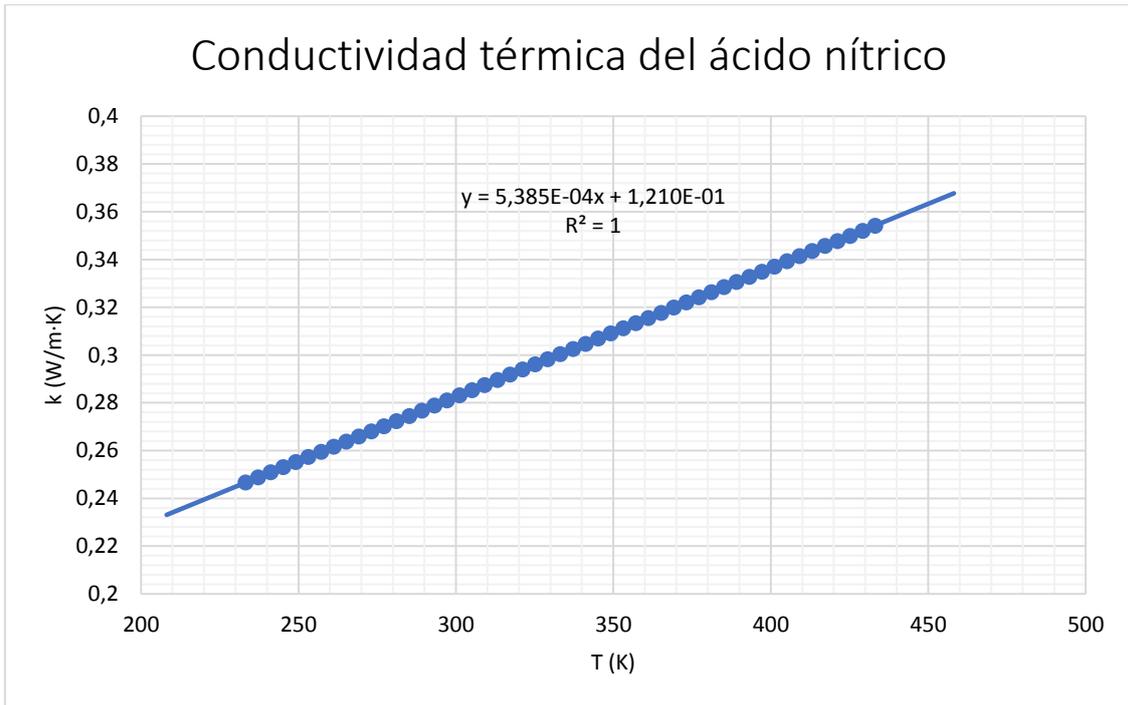


Figura 1.2 Conductividad del ácido nítrico puro a distintas temperaturas

Efectuando un ajuste lineal a los valores representados en la *Figura 1.2* se obtiene la (*Ecuación 14*):

$$k \left(\frac{W}{m \cdot K} \right) = 5,385 \cdot 10^{-4} \cdot T (K) + 0,121 \quad (14)$$

Para la temperatura de 451,15 K (178 °C), el valor de la conductividad del ácido nítrico puro es de:

$$k = 0,364 \frac{W}{m \cdot K}$$

1.1.2 Corriente de amoníaco gaseoso

1.1.2.1 Capacidad calorífica y calor específico

En la *Tabla 1.3* se recogen los datos de calor específico y capacidad calorífica del amoníaco a distintas temperaturas.[7]

Tabla 1.3 Capacidad calorífica y calor específico del amoníaco a diferentes temperaturas

$T(^{\circ}C)$	$T(K)$	$c \left(\frac{J}{K} \right)$	$c_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^{\circ}C} \right)$
60	333	36.602,888	2,153
70	343	36.923,107	2,172
80	353	37.249,466	2,191
90	363	37.580,593	2,211
100	373	37.915,245	2,230
110	383	38.252,321	2,250
120	393	38.590,857	2,270
130	403	38.930,022	2,290
140	413	39.269,114	2,310
150	423	39.607,549	2,330
160	433	39.944,852	2,350
170	443	40.280,645	2,369

Representando los datos de la tabla anterior puede obtenerse una gráfica tal como la representada en la *Figura 1.3*.

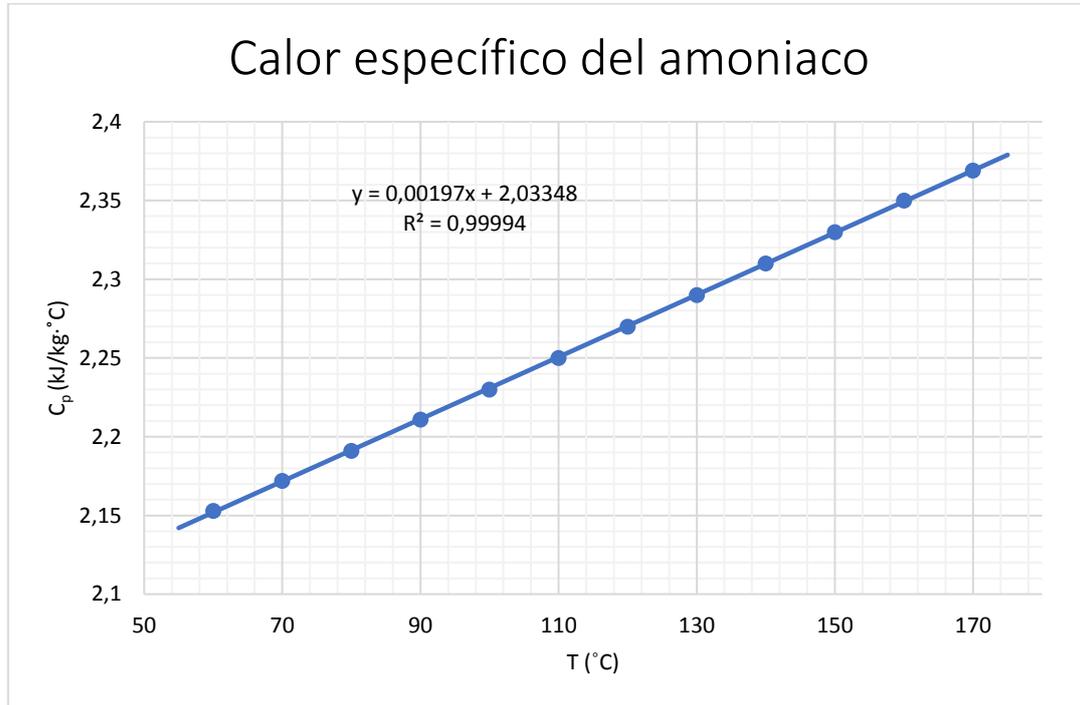


Figura 1.3 Calor Específico del amoníaco en función de la temperatura

El ajuste obtenido nos proporciona la *Ecuación 15*.

$$C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = 0,00197 \cdot T (^{\circ}C) + 2,03348 \quad (15)$$

Dicha correlación es válida para corrientes de amoníaco gas en un rango de valores de temperatura de entre 60 y 170 °C. Para 90 °C, el valor de calor específico que se obtiene para el amoníaco puro es:

$$C_p = 2,21078 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

1.1.3 Disolución de nitrato amónico

Para el cálculo del calor específico de una disolución, se va a proceder a comparar mediante tres fuentes distintas el valor. De esta forma se compararán los resultados obtenidos, con el fin de demostrar que el calor específico de la disolución varía de forma más significativa con la concentración de nitrato amónico que con la temperatura.

1.1.3.1 Calor Específico del nitrato amónico a 32 °C

La *Tabla 1.4* muestra relación del calor específico de una disolución de nitrato amónico a la temperatura de 32 °C.

Tabla 1.4 Calor Específico de una disolución de nitrato amónico a 32 °C.

$C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Totales}} \right)$	$C_p \left(\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	$C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$
0	0,9985	4,1805198
10,03	0,9247	3,87153396
19,22	0,8622	3,60985896
30,03	0,7945	3,3264126
40,06	0,737	3,0856716
50,03	0,6847	2,86670196
61,31	0,6297	2,63642796
69,46	0,5935	2,4848658

A partir de representar los valores de la tabla anterior, se obtiene la *Figura 1.4*.

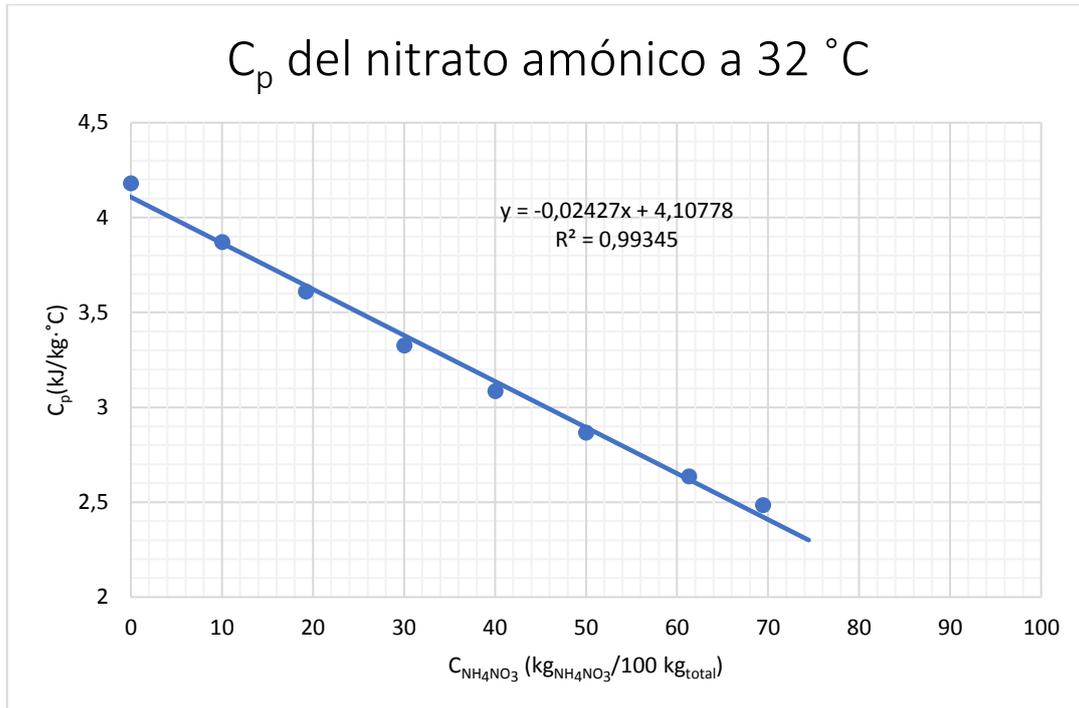


Figura 1.4 Calor específico de una disolución de nitrato amónico a 32 °C

De la *Figura 1.4* se obtiene la *Ecuación 16*.

$$\bar{C}_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = -0,02427 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 4,10778 \quad (16)$$

La *Ecuación 16* describe el comportamiento del calor específico de la solución de nitrato amónico con la composición para una temperatura de 32 °C .

1.1.3.2 Calor Específico del nitrato amónico a 100 °C

En la *Tabla 1.5* se muestra la concentración en peso de la disolución de nitrato amónico y su calor específico a la temperatura de 100 °C.[8]

Tabla 1.5 Calor Específico de una disolución de nitrato amónico a 100 °C.

$C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Totales}} \right)$	$C_p \left(\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	$C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$
0	1	4,1868
10	0,94	3,935592
30	0,82	3,433176
50	0,69	2,888892
70	0,57	2,386476
90	0,45	1,88406
100	0,416	1,741709

A partir de representar los valores de la tabla anterior, se obtiene la *Figura 1.5*.

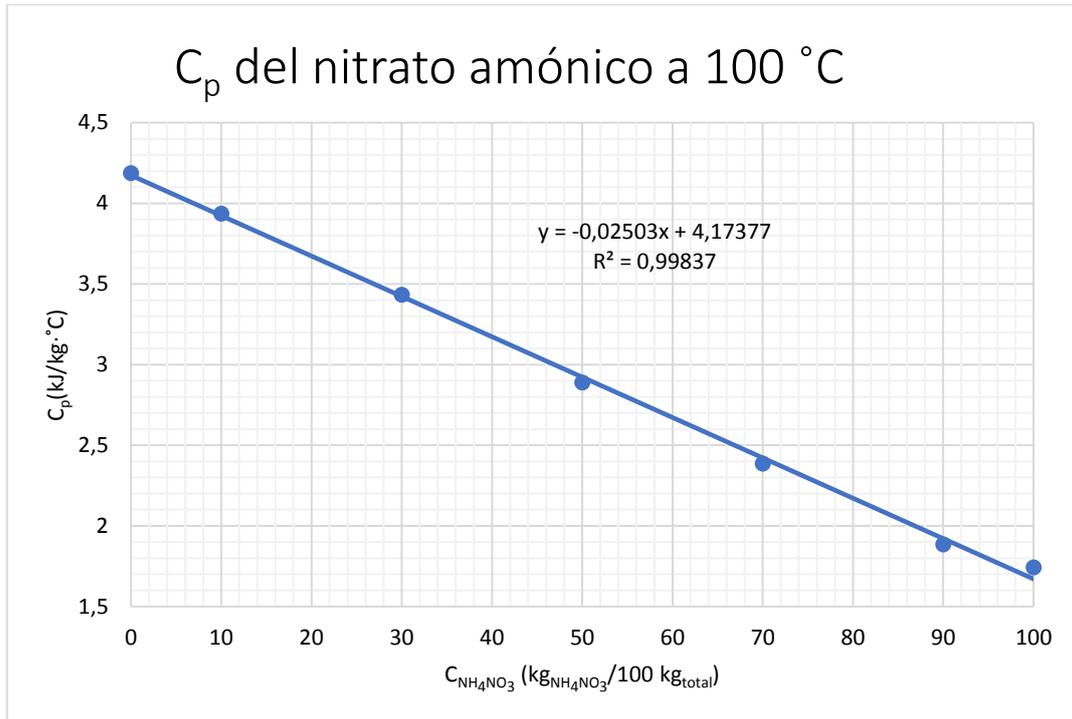


Figura 1.5 Calor específico de una disolución de nitrato amónico a 100 °C

De la *Figura 1.5* se obtiene la *Ecuación 17*.

$$\bar{C}_p \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{°C}} \right) = -0,02503 \cdot C_{\text{NH}_4\text{NO}_3} \left(\frac{\text{kg}_{\text{NH}_4\text{NO}_3}}{100 \text{ kg}_{\text{Totales}}} \right) + 4,17377 \quad (17)$$

La *Ecuación 17* describe el comportamiento del calor específico de la solución de nitrato amónico con la composición para una temperatura de 100 °C .

1.1.3.3 Calor Específico del nitrato amónico a 180 °C

En la *Tabla 1.6* se muestra el calor específico de una disolución a 180 °C para varias concentraciones de nitrato amónico.[9]

Tabla 1.6 Calor Específico de una disolución de nitrato amónico a 180 °C.

$C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Totales}} \right)$	$C_p \left(\frac{kcal}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	$C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$
50	0,699	2,92657
60	0,637	2,66699
70	0,576	2,41160
80	0,515	2,15620
90	0,454	1,90081

A partir de representar los valores de la tabla anterior, se obtiene la *Figura 1.6*.

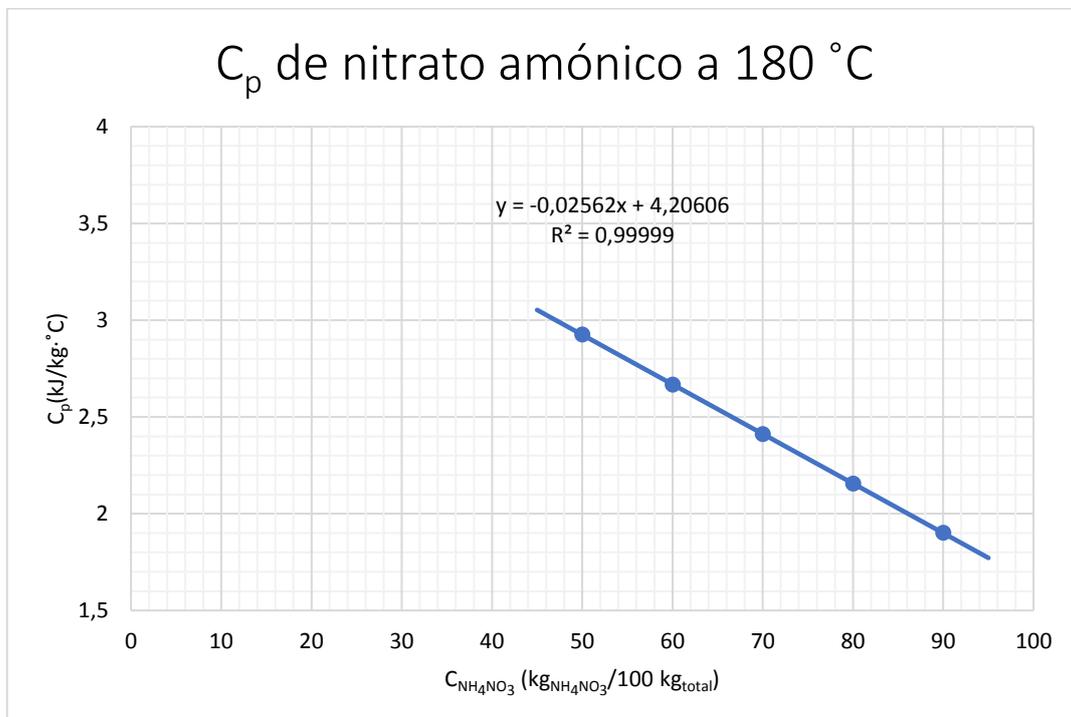


Figura 1.6 Calor específico de una disolución de nitrato amónico a 180 °C

De la *Figura 1.6* se obtiene la *Ecuación 18*.

$$\bar{C}_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = -0,02562 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 4,20606 \quad (18)$$

La *Ecuación 18* describe el comportamiento del calor específico de la solución de nitrato amónico con la composición para una temperatura de 180 °C.

Para una composición del 76 % en peso de nitrato amónico:

$$\bar{C}_p = 2,2589 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

1.1.3.4 Comparativa de calores específicos del nitrato amónico a distintas temperaturas

Una vez obtenidas todas las correlaciones entre la concentración de nitrato amónico en la disolución y su calor específico, se procede a realizar una comparativa a diferentes temperaturas (*Figura 1.7*).

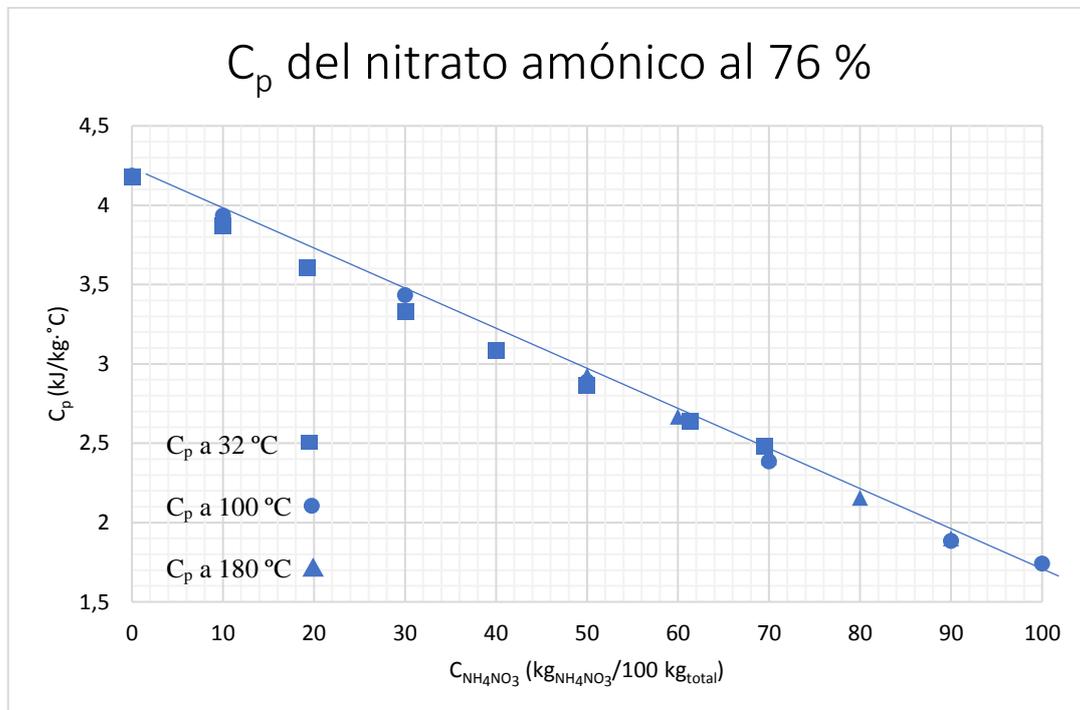


Figura 1.7 Calor específico de una disolución de nitrato amónico del 76 % a varias temperaturas

En la *Figura 1.7* puede observarse una diferencia mínima en cuanto al comportamiento del calor específico de una disolución de nitrato amónico con la temperatura. Sin embargo, se hace notable que el calor específico de una disolución de nitrato amónico es altamente susceptible al cambio de composición de la disolución.

Con base en las afirmaciones anteriores, podría deducirse que, para una disolución de nitrato amónico con valores de temperatura del orden de los 180 °C, podría utilizarse tanto la correlación obtenida para los 180 °C, como cualquiera de las otras correlaciones.

1.1.3.5 Densidad de la corriente de nitrato amónico

En la *Tabla 1.7* se recogen los datos de densidad de las disoluciones de nitrato amónico, para varias concentraciones de la disolución.[10]

Tabla 1.7 Densidad de una disolución de nitrato amónico

$C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Totales}} \right)$	$\rho \left(\frac{g}{mL} \right)$	$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)$
51,9	1,177	1.177
71,3	1,276	1.276
81,4	1,328	1.328
87	1,358	1.358
90,75	1,375	1.375
93,4	1,39	1.390
95,9	1,398	1.398
97,55	1,401	1.401

A partir de representar los valores de la tabla anterior se obtiene la *Figura 1.8*.

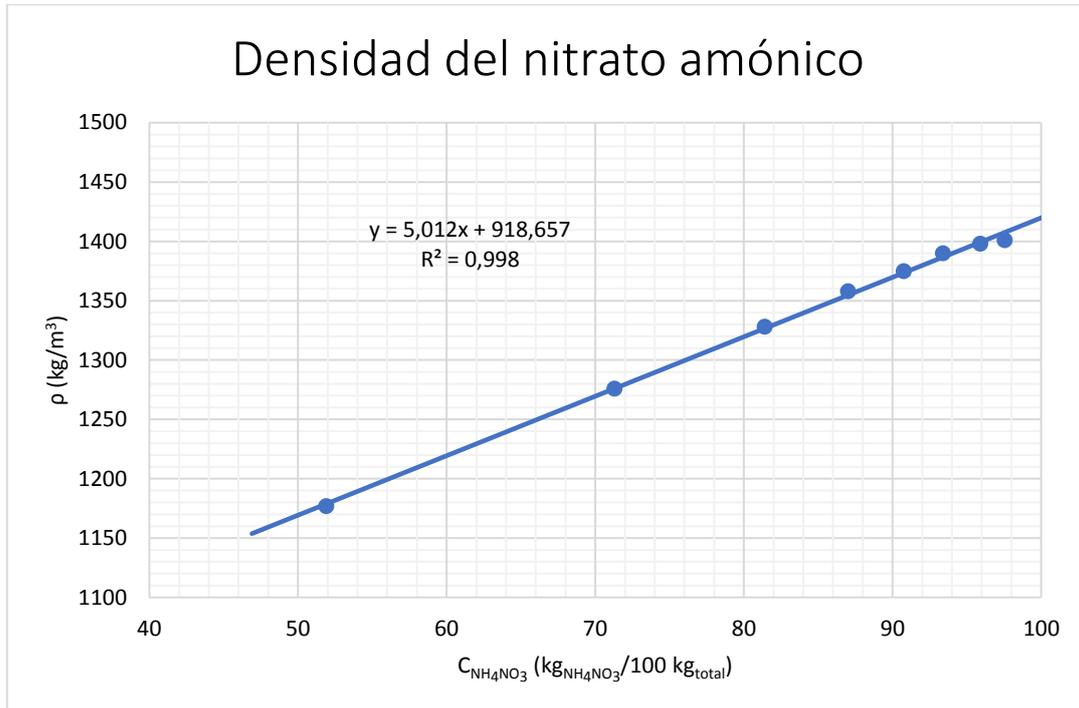


Figura 1.8 Densidad de una disolución de nitrato amónico en función de la composición

De la *Figura 1.8* se obtiene la *Ecuación 19*.

$$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 5,012 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 918,657 \quad (19)$$

La *Ecuación 19* describe el comportamiento de la densidad de una disolución de nitrato amónico en función del contenido en nitrato amónico. Para una composición del 76 % de nitrato amónico en la disolución, la densidad es de:

$$\rho = 1.299,57 \frac{kg}{m^3}$$

1.1.3.6 Viscosidad de la corriente de nitrato amónico

La *Tabla 1.8* recoge los datos de viscosidad de una disolución de nitrato amónico al 76 % en peso para varias temperaturas.[11]

Tabla 1.8 Viscosidad de una disolución al 76 % de nitrato amónico a varias temperaturas

$T(^{\circ}C)$	$\mu(Pa \cdot s)$
125	0,00095
120	0,001
100	0,0012162
80	0,0014595
70	0,0016486
60	0,001811
50	0,0020541
45	0,0022703

De la *Tabla 1.8* se obtiene la *Figura 1.9*.

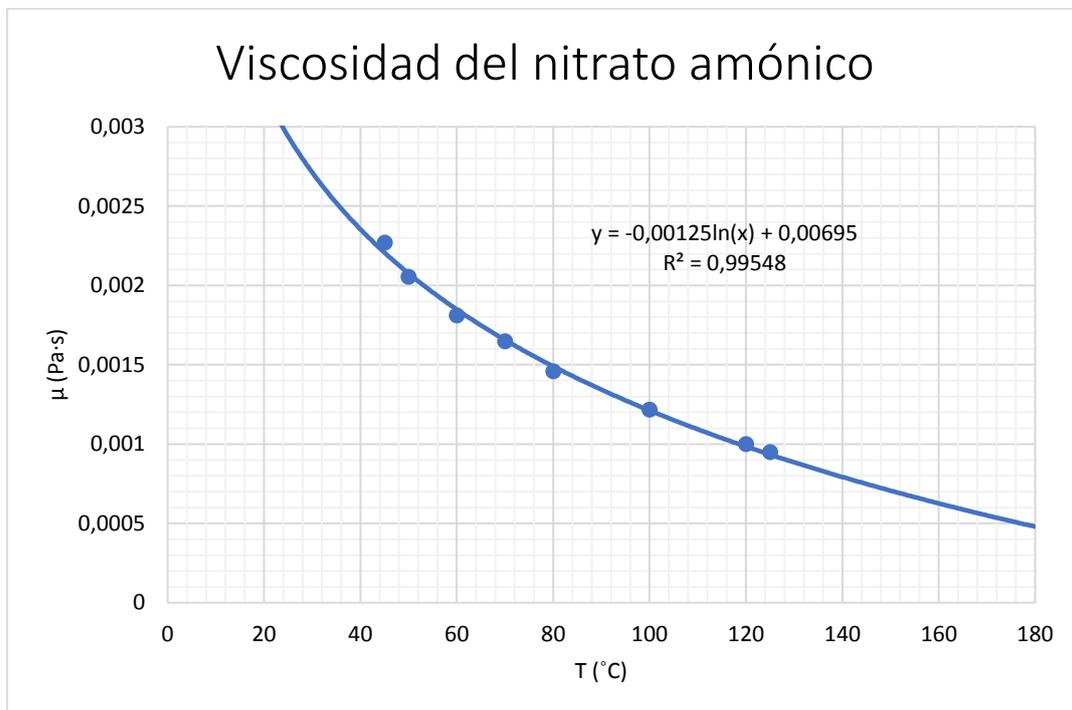


Figura 1.9 Viscosidad de una disolución de nitrato amónico al 76 %

Realizando un ajuste a los datos anteriores se obtiene la *Ecuación 20*:

$$\mu (Pa \cdot s) = 0,00695 - 0,00125 \cdot \ln(T (^{\circ}C)) \quad (20)$$

La viscosidad de una disolución de nitrato amónico a 178 °C es de:

$$\mu = 4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s$$

1.1.4 Corrientes de agua

1.1.4.1 Calor latente de vaporización del agua

Entre las propiedades que se requiere como dato de partida para el caso del agua es el calor latente de vaporización de la misma. El calor latente de vaporización se muestra en la *Tabla 1.9*. [12]

Tabla 1.9 *Tablas de vapor saturado*

$P \left(\frac{kg}{cm^2} \right)$	$T(^{\circ}C)$	$r \left(\frac{kcal}{kg} \right)$	$r \left(\frac{kJ}{kg} \right)$
1,5	110,8	532,1	2227,80
2	119,6	526,4	2203,93
2,5	126,8	521,5	2183,42
3	132,9	517,3	2165,83
3,5	138,2	513,5	2149,92
4	142,9	510,2	2136,11
4,6	147,2	507,1	2123,13
5	151,1	504,2	2110,98
6	158,1	498,9	2088,79
7	164,2	494,2	2069,12
8	169,6	489,8	2050,69
9	174,5	485,8	2033,95
10	179	482,1	2018,46
11	183,2	478,4	2002,97
12	187,1	475,1	1989,15

A partir de los datos de la *Tabla 1.9* se obtiene la *Figura 1.10*.

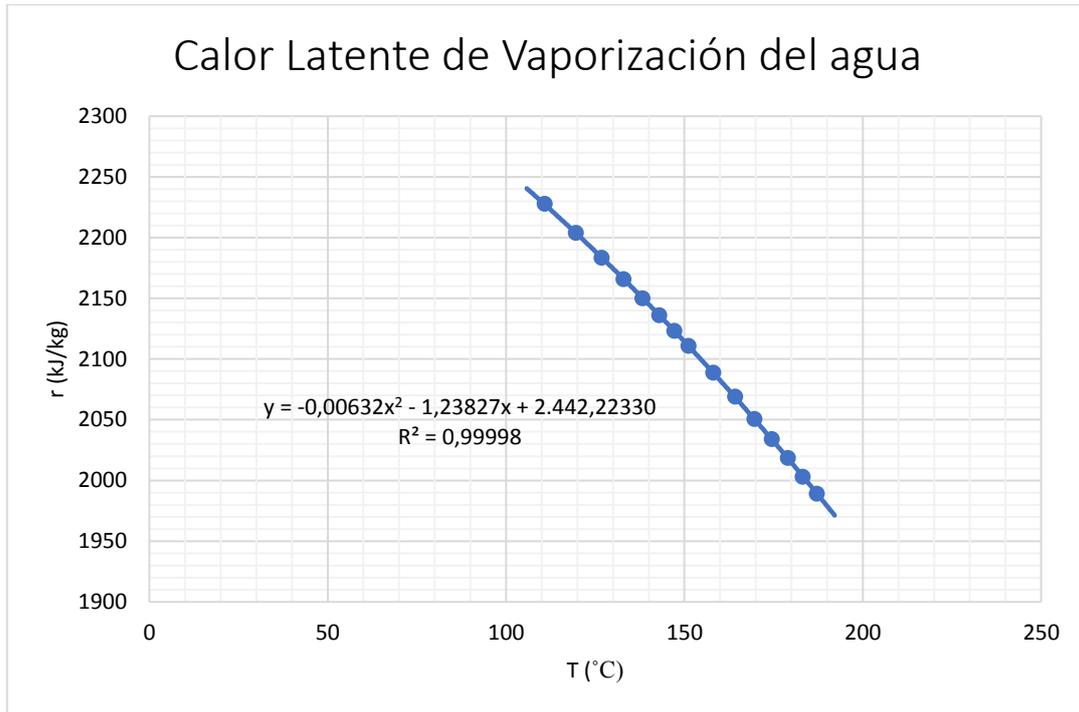


Figura 1.10 Calor latente de vaporización del agua en función de la temperatura

Realizando un ajuste a los datos anteriores se obtiene la Ecuación 21:

$$r \left(\frac{kJ}{kg} \right) = -0,00632 \cdot T^2(°C)^2 - 1,23827 \cdot T(°C) + 2.442,22330 \quad (21)$$

La temperatura de ebullición a 4,0 kg/cm² es de 142,9 °C y su calor latente de vaporización es de:

$$r = 2.136,11 \frac{kJ}{kg}$$

El calor latente de vaporización a 178 °C es de:

$$r = 2.021,57 \frac{kJ}{kg}$$

La temperatura de ebullición a 6,8 kg/cm² es de 163 °C y su calor latente de vaporización es de:

$$r = 2.072,47 \frac{kJ}{kg}$$

1.1.4.2 Entalpía específica del agua

Además del calor latente de vaporización, otra de las propiedades importantes del agua es su entalpía específica como vapor recalentado a una presión de 4,0 kg/cm² recogida en la *Tabla 1.10*. [13]

Tabla 1.10 Entalpía específica del vapor de agua recalentado a 4 kg/cm²

$T(^{\circ}C)$	$H \left(\frac{kcal}{kg} \right)$	$H \left(\frac{kJ}{kg} \right)$
150	657,9	2754,50
170	668,2	2797,62
200	683	2859,58
230	697,7	2921,13
260	712,4	2982,68
300	732,1	3065,16
320	742	3106,61
350	756,9	3168,99
400	781,8	3273,24
450	807,1	3379,17
500	832,5	3485,51
550	858,4	3593,95
600	884,4	3702,81
650	910,7	3812,92
700	937,6	3925,54

A partir de los datos de la *Tabla 1.10* se obtiene la *Figura 1.11*.

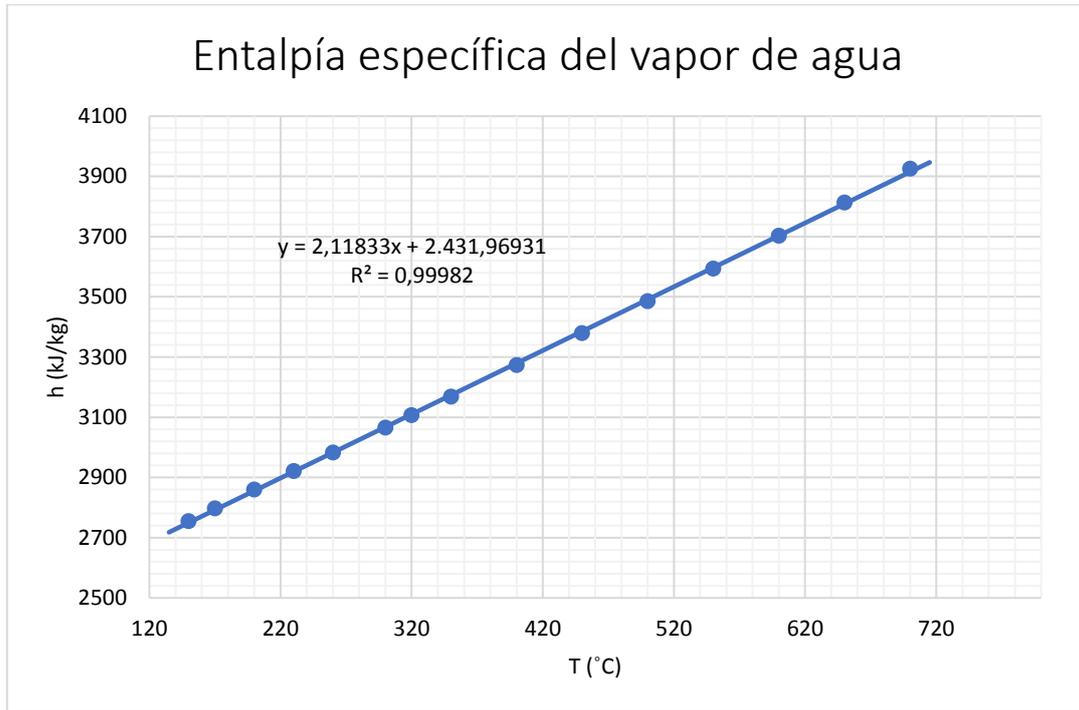


Figura 1.11 Entalpía específica del vapor de agua recalentado a 4 kg/cm²a distintas temperaturas

Realizando un ajuste a los datos anteriores se obtiene la *Ecuación 22*:

$$H \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 2,11833 \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)} + 2.431,96931 \quad (22)$$

La entalpía específica del vapor de agua recalentado a 178 °C es de:

$$H = 2.809,032 \frac{kJ}{kg}$$

La entalpía específica del vapor de agua recalentado a 142,9 °C es de:

$$H = 2.734,68 \frac{kJ}{kg}$$

1.1.4.3 Viscosidad del agua

En la *Tabla 1.11* se recogen los datos de viscosidad del agua a distintas temperaturas.[14]

Tabla 1.11 Viscosidad del agua a diferentes temperaturas

$T(^{\circ}C)$	$P(MPa)$	$\mu_w(Pa \cdot s)$	$T(^{\circ}C)$	$P(MPa)$	$\mu_w(Pa \cdot s)$
0,01	0,000612	0,0017914	120	0,199	0,000232
10	0,0012	0,001306	140	0,362	0,0001966
20	0,0023	0,0010016	160	0,618	0,0001704
25	0,0032	0,00089	180	1	0,0001504
30	0,0042	0,0007972	200	1,55	0,0001364
40	0,0074	0,0006527	220	2,32	0,0001218
50	0,0124	0,0005465	240	3,35	0,0001111
60	0,0199	0,000466	260	4,69	0,0001018
70	0,0312	0,0004035	280	6,42	0,0000936
80	0,0474	0,000354	300	8,59	0,0000859
90	0,0702	0,0003142	320	11,3	0,0000783
100	0,101	0,0002816	340	14,6	0,0000703
110	0,143	0,0002546	360	18,7	0,0000603

Representando los datos de la *Tabla 1.11*, se elabora la *Figura 1.12*.

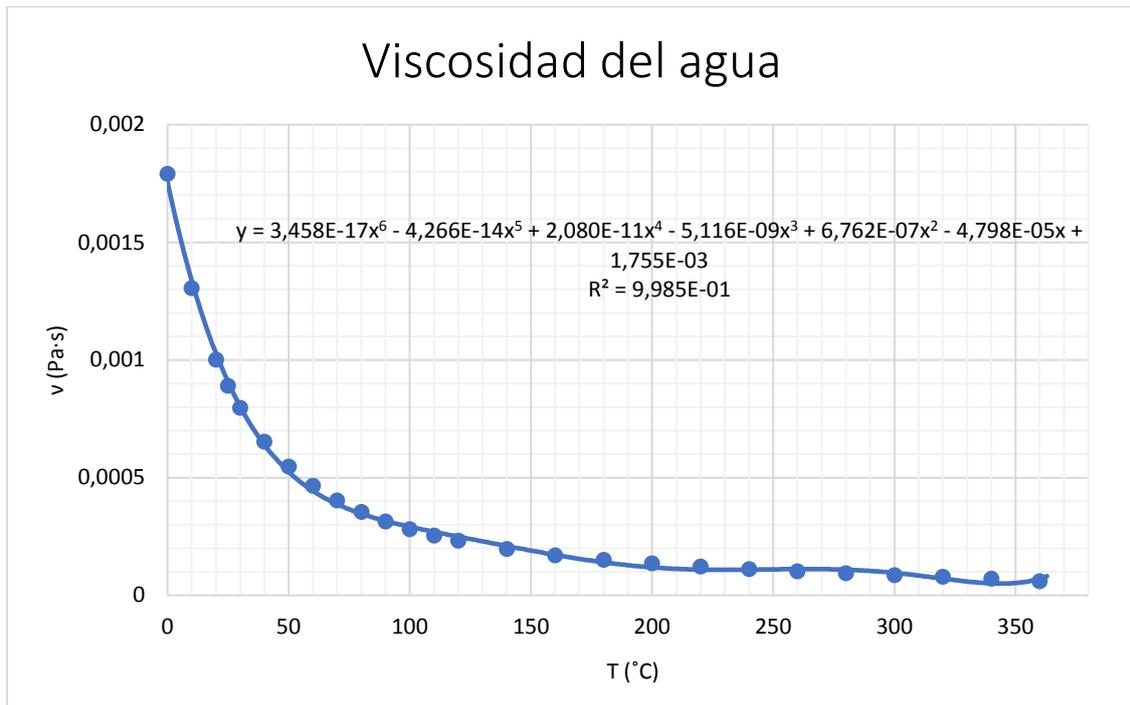


Figura 1.12 Viscosidad del agua a diferentes temperaturas

Haciendo un ajuste polinómico a los datos representados en la *Figura 1.12* se obtiene la *Ecuación 23*:

$$\begin{aligned} \mu_w(Pa \cdot s) = & 3,458 \cdot 10^{-17} \cdot T (^{\circ}C)^6 - 4,26610^{-14} \cdot T (^{\circ}C)^5 \\ & + 2,0810^{-11} \cdot T (^{\circ}C)^4 - 5,116 \cdot 10^{-9} \cdot T (^{\circ}C)^3 + 6,762 \cdot 10^{-7} \\ & \cdot T (^{\circ}C)^2 - 4,798 \cdot 10^{-5} \cdot T (^{\circ}C) + 1,755 \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad (23)$$

Haciendo una ampliación en el rango de operación (*Figura 1.13*):

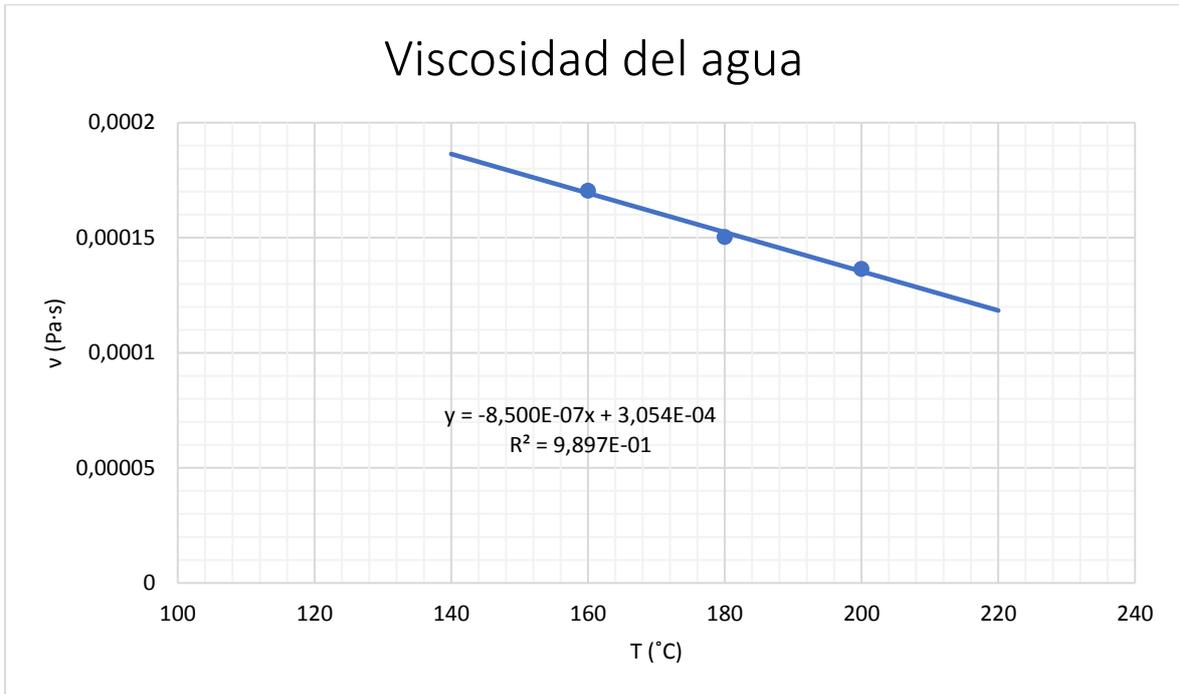


Figura 1.13 Viscosidad del agua entre 160 y 180 °C

Haciendo un ajuste lineal a los datos representados en la *Figura 1.13* se obtiene la *Ecuación 24*:

$$\mu_w(Pa \cdot s) = 3,054 \cdot 10^{-4} - 8,5 \cdot 10^{-7} \cdot T (^{\circ}C) \quad (24)$$

La viscosidad del agua a 178 °C resulta de:

$$\mu_w = 1,541 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s$$

1.1.4.4 Conductividad del agua

En la *Tabla 1.12* se recoge la conductividad del agua en estado líquido y en estado vapor a distintas temperaturas.[15]

Tabla 1.12 Conductividad del agua a distintas temperaturas

$T(^{\circ}C)$	$k_{\text{liquido}} \left(\frac{W}{m \cdot k} \right)$	$k_{\text{vapor}} \left(\frac{W}{m \cdot k} \right)$	$T(^{\circ}C)$	$k_{\text{liquido}} \left(\frac{W}{m \cdot k} \right)$	$k_{\text{vapor}} \left(\frac{W}{m \cdot k} \right)$
0,01	0,561	0,0171	100	0,679	0,0251
5	0,571	0,0173	110	0,682	0,0262
10	0,58	0,0176	120	0,683	0,0275
15	0,589	0,0179	130	0,684	0,0288
20	0,598	0,0182	140	0,683	0,0301
25	0,607	0,0186	150	0,682	0,0316
30	0,615	0,0189	160	0,68	0,0331
35	0,623	0,0192	170	0,677	0,0347
40	0,631	0,0196	180	0,673	0,0364
45	0,637	0,02	190	0,669	0,0382
50	0,644	0,0204	200	0,663	0,0401
55	0,649	0,0208	220	0,65	0,0442
60	0,654	0,0212	240	0,632	0,0487
65	0,659	0,0216	260	0,609	0,054
70	0,663	0,0221	280	0,581	0,0605
75	0,667	0,0225	300	0,548	0,0695
80	0,67	0,023	320	0,509	0,0836
85	0,673	0,0235	340	0,469	0,11
90	0,675	0,024	360	0,427	0,178
95	0,677	0,0246			

Representando los datos de conductividad térmica del líquido que figuran en la *Tabla 1.12* se obtiene la *Figura 1.14*.

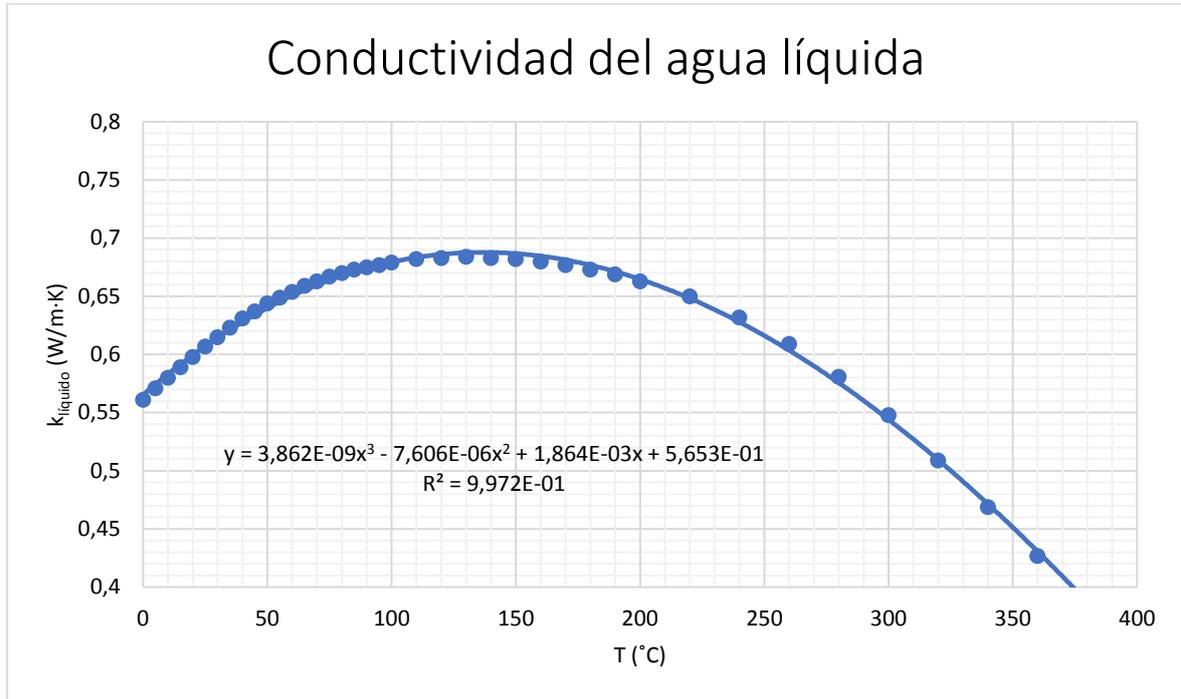


Figura 1.14 Conductividad del agua líquida

Haciendo un ajuste polinómico a los datos representados en la *Figura 1.14* se obtiene la *Ecuación 25*:

$$k_{\text{liquido}} \left(\frac{W}{m \cdot k} \right) = 3,862 \cdot 10^{-9} \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)}^3 - 7,606 \cdot 10^{-6} \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)}^2 + 1,864 \cdot 10^{-6} \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)} + 0,5653 \quad (25)$$

Representando los datos de conductividad térmica del vapor que figuran en la *Tabla 1.12* se obtiene la *Figura 1.15*.

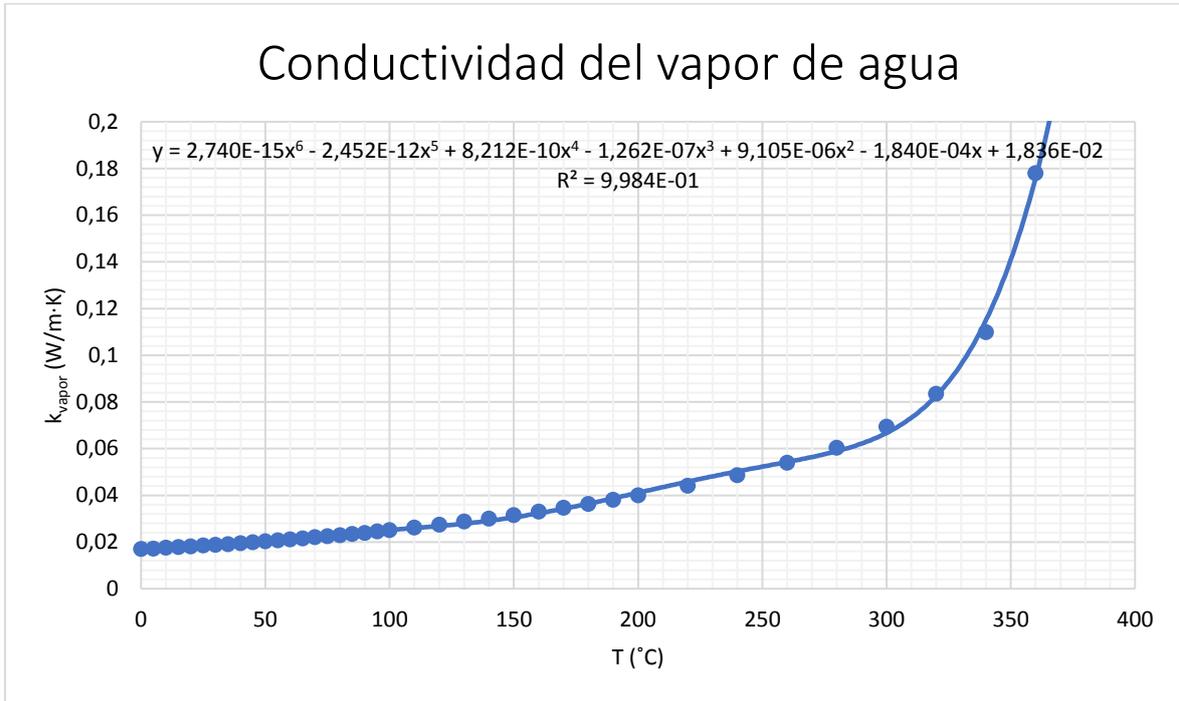


Figura 1.15 Conductividad del vapor de agua

Haciendo un ajuste polinómico a los datos representados en la *Figura 1.15* se obtiene la *Ecuación 26*:

$$\begin{aligned}
 k_{vapor} \left(\frac{W}{m \cdot K} \right) = & 2,740 \cdot 10^{-15} \cdot T (^{\circ}C)^6 - 2,452 \cdot 10^{-12} \cdot T (^{\circ}C)^5 \\
 & + 8,212 \cdot 10^{-10} \cdot T (^{\circ}C)^4 - 1,262 \cdot 10^{-7} \cdot T (^{\circ}C)^3 + 9,105 \cdot 10^{-6} \cdot T (^{\circ}C)^2 \\
 & + 1,840 \cdot 10^{-4} \cdot T (^{\circ}C) + 1,836 \cdot 10^{-2}
 \end{aligned} \tag{26}$$

1.1.4.5 Calor específico del agua líquida

La *Tabla 1.13* recoge los datos de calor específico del agua.[16]

Tabla 1.13 Calor específico del agua líquida

$C_p \left(\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	$T \text{ (}^\circ C\text{)}$
4.226	0
4.182	20
4.178	40
4.181	60
4.194	80
4.211	100
4.279	140
4.413	180
4.606	220
4.944	260
6.594	300

Representando los datos de la *Tabla 1.13* se obtiene la *Figura 1.16*.

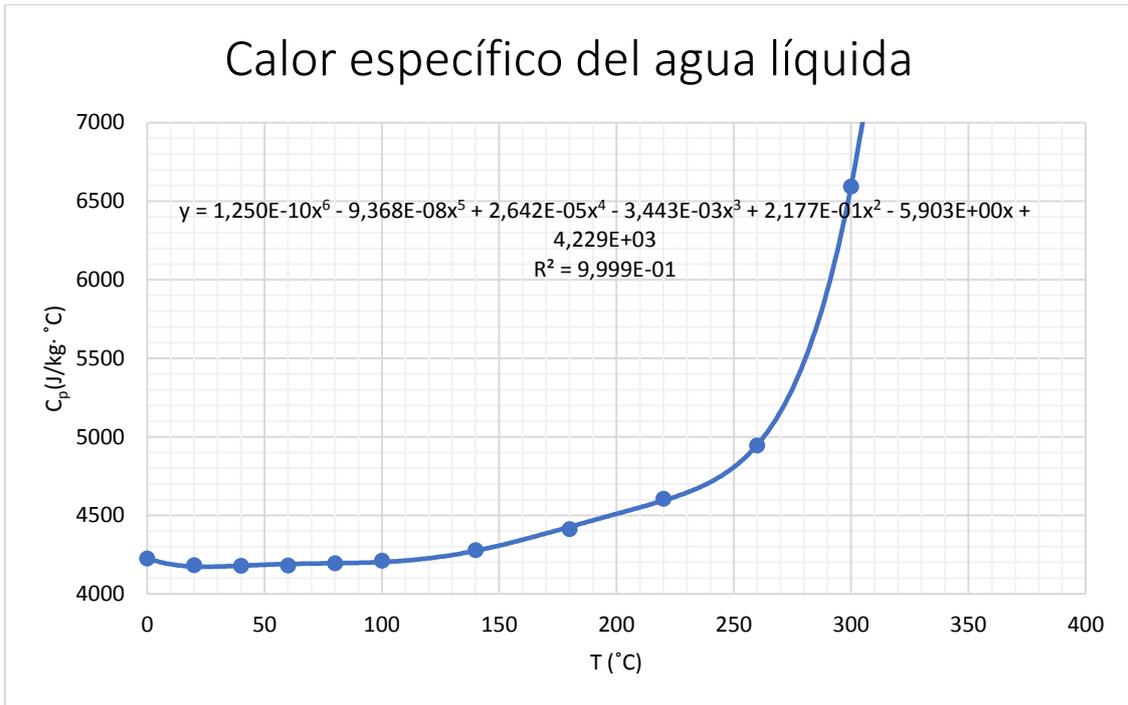


Figura 1.16 Calor específico del agua líquida

Haciendo un ajuste polinómico a los datos de la *Figura 1.16* se obtiene la *Ecuación 27*:

$$\begin{aligned}
 C_p \left(\frac{J}{kg \cdot ^\circ C} \right) = & 1,25 \cdot 10^{-6} \cdot T \text{ (}^\circ C\text{)}^6 - 9,368 \cdot 10^{-8} \cdot T \text{ (}^\circ C\text{)}^5 + 2,642 \\
 & \cdot 10^{-5} \cdot T \text{ (}^\circ C\text{)}^4 - 3,443 \cdot 10^{-3} \cdot T \text{ (}^\circ C\text{)}^3 + 2,117 \cdot 10^{-1} \cdot T \text{ (}^\circ C\text{)}^2 - 5,903 \\
 & \cdot T \text{ (}^\circ C\text{)} + 4,299 \cdot 10^3
 \end{aligned} \tag{27}$$

Para 142,9 °C, el calor específico del agua líquida es de:

$$C_p = 4.283,72 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

Para 100 °C, el calor específico del agua líquida es de:

$$C_p = 4.202,88 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$$

1.1.4.6 Densidad del agua líquida

La Tabla 1.14 recoge los datos de densidad del agua líquida.[17]

Tabla 1.14 Densidad del agua líquida

$T(^{\circ}C)$	$\rho \left(\frac{kg}{m^3}\right)$
0	1000
20	998,2
40	992,3
60	983,2
80	971,8
100	958,4
140	926,1
180	887
220	840,5
260	784
300	712,5

Representando los datos de la *Tabla 1.14* se obtiene la *Figura 1.17*.

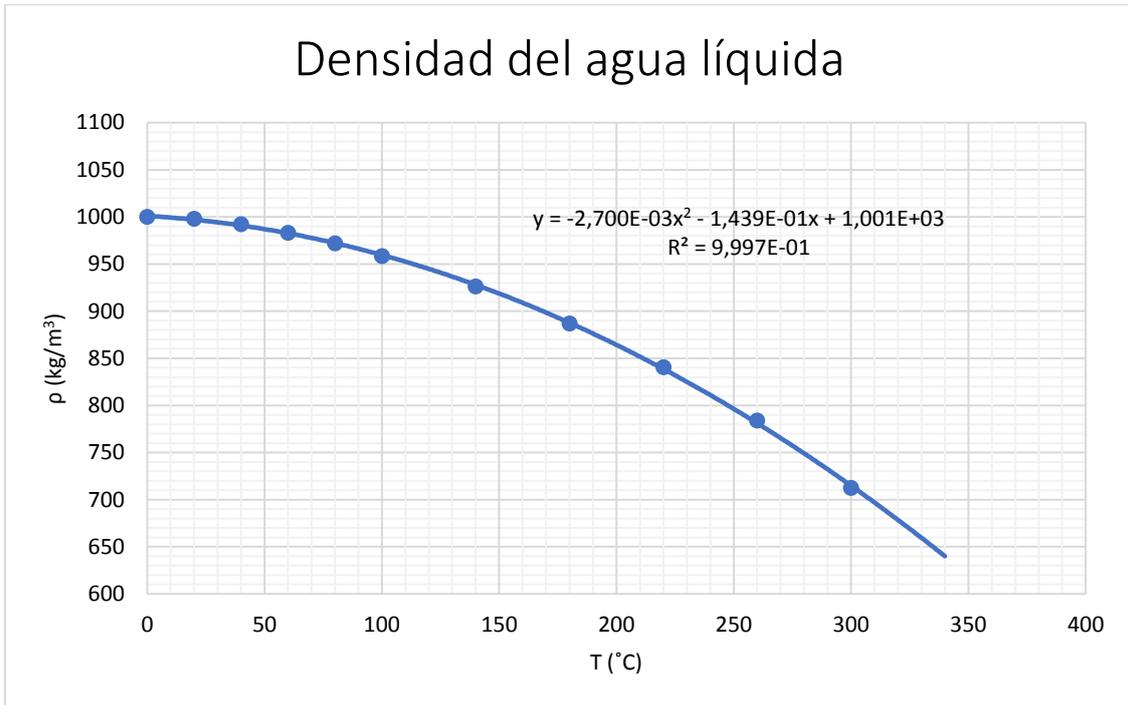


Figura 1.17 Densidad del agua líquida

Haciendo un ajuste polinómico a los datos de la *Figura 1.17* se obtiene la *Ecuación 28*:

$$\rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = -2,7 \cdot 10^{-3} \cdot T (^{\circ}\text{C})^2 - 1,439 \cdot 10^{-1} \cdot T (^{\circ}\text{C}) + 1,001 \quad (28)$$

Para la temperatura de 163°C la densidad del agua líquida es de:

$$\rho = 905,81 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

1.1.5 Entalpía de reacción y entalpía de disolución

En la *Tabla 1.15* se recogen los datos encontrados de entalpía de disolución y de reacción a 25 °C y 1 atm. Las entalpías son función de la concentración de la disolución de nitrato amónico (en porcentaje en masa).[18]

Tabla 1.15 Entalpía de reacción y de disolución a diferentes concentraciones de nitrato amónico

$C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Totales}} \right)$	$\Delta H^0_{disolución} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$	$\Delta H^0_{reacción} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$
95	29,98388	-1517,934
90	59,96777	-1487,95
0	330,7572	-

A partir de la *Tabla 1.15* se elabora la *Figura 1.18*.

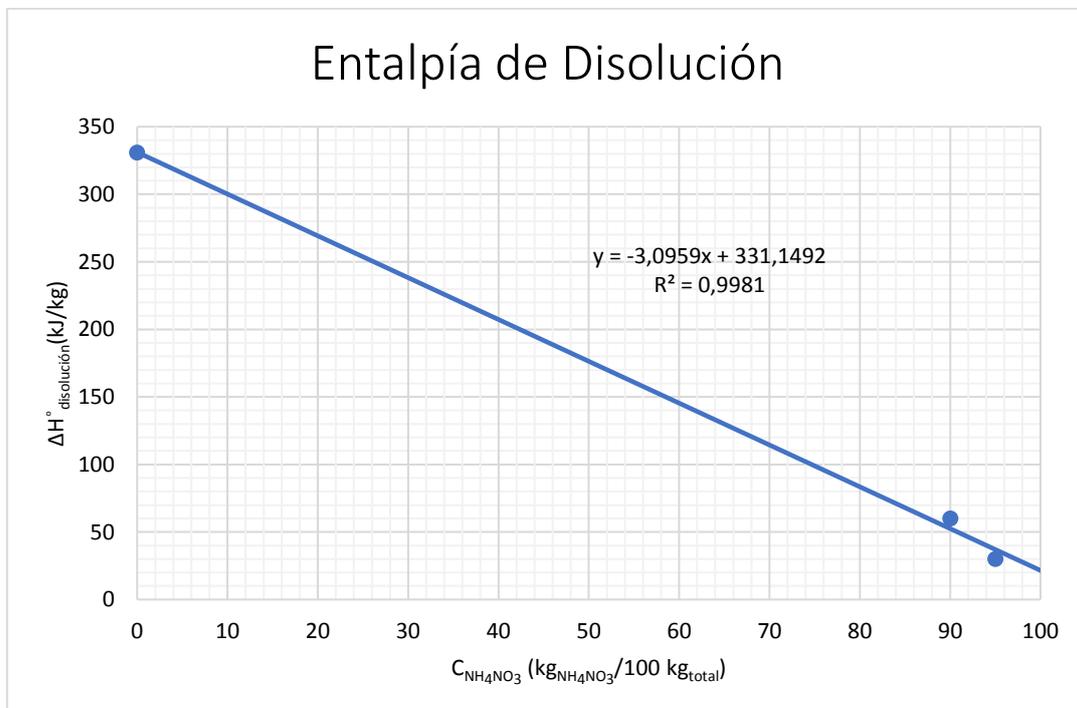


Figura 1.18 Entalpía de disolución

Se obtiene una correlación para la entalpía de disolución tal que (Ecuación 29):

$$\Delta H_{disolución}^0 \left(\frac{kJ}{kg} \right) = 331,1492 - 3,0959 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Totales}} \right) \quad (29)$$

Para una disolución de nitrato amónico del 76 % en peso la entalpía de disolución es de:

$$\Delta H_{disolución}^0 = 95,861 \frac{kJ}{kg}$$

A partir de la *Tabla 1.15* se elabora la *Figura 1.19*.

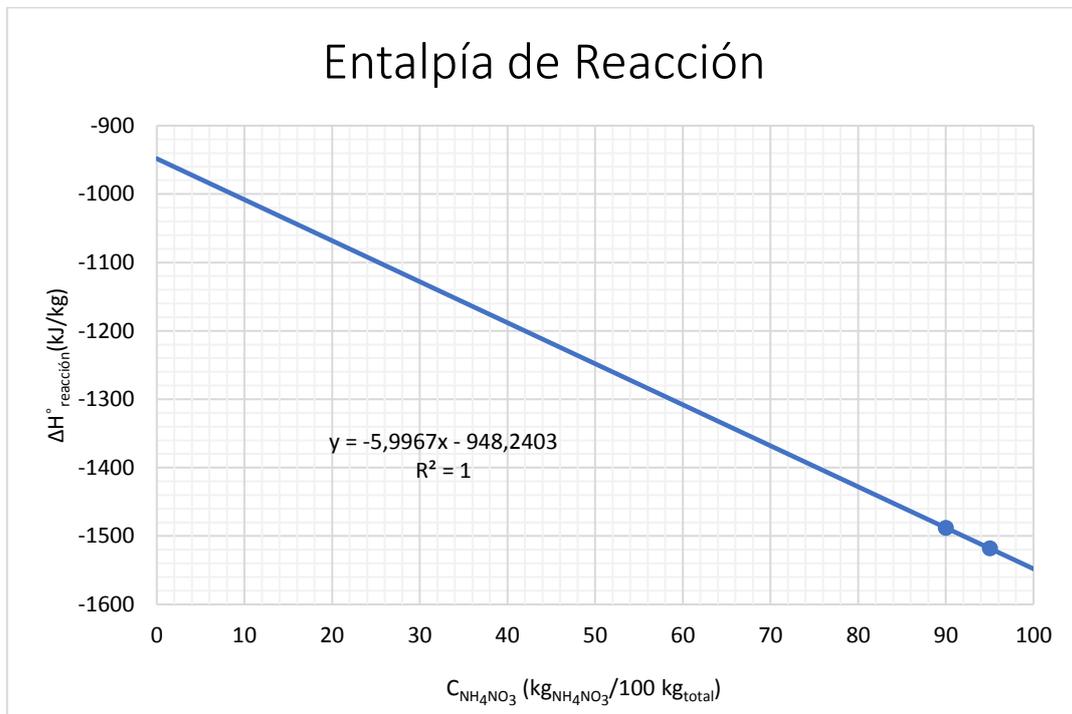


Figura 1.19 Entalpía de reacción

Se obtiene una correlación para la entalpía de reacción tal que (Ecuación 30):

$$\Delta H_{reacción}^0 \left(\frac{kJ}{kg} \right) = -948,2403 - 5,9967 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Totales}} \right) \quad (30)$$

Para una disolución de nitrato amónico del 76 % en peso la entalpía de reacción es de:

$$\Delta H_{reacción}^0 = -1.403,995 \frac{kJ}{kg}$$

2. Anexo 2: Cálculo de las corrientes del sistema

Para el desarrollo de los cálculos, se han seguido los siguientes pasos:

- Para el proceso de media presión seleccionado, se ha de calcular también la temperatura de ebullición de la disolución de nitrato amónico, a una concentración del 76 % y a la presión de 4 kg/cm² (en el separador).
- Después, deben calcularse los caudales de las corrientes de ácido nítrico y de amoniaco que se incorporarán al sistema para obtener la producción deseada.
- Posteriormente, se requiere conocer la entalpía de reacción para conocer la cantidad de calor que se desprende por kilogramo de nitrato amónico producido. Conocidos estos primeros datos, es necesario calcular la recirculación del sistema. Dado que el nitrato amónico descompone a la temperatura de 210 °C, se recirculará una cantidad de material tal que permita evitar que la disolución se caliente por encima de esta temperatura de descomposición. Con el fin de tener un margen suficiente de seguridad, la temperatura máxima instantánea que podría alcanzarse en el reactor se fija en 192 °C.
- Una vez conocidas las corrientes del lazo de recirculación del sistema, para un caudal de agua de lavado en el concentrador de 2.500 kg/h a unas condiciones de presión y temperatura determinadas, pueden efectuarse los balances de materia y energía al sistema concentrador para conocer la cantidad de agua separada. Tras conocer la cantidad de agua a separar se calcula que cantidad de energía liberada por la reacción queda disponible para su empleo en producir vapor en la caldera.
- El sistema de intercambio de calor se diseña como una caldera de termosifón vertical natural, puesto que todo el sistema se mueve debido a la diferencia de densidades provocada por la reacción. Para el diseño de la caldera se utilizará el método simplificado para mezclas.
- A nivel constructivo, se diseñan los espesores de pared requeridos para mantener unas condiciones de operación seguras.

2.1 Temperatura de trabajo del sistema

A partir de la *Figura 2.1* se puede obtener la temperatura de ebullición de una disolución de nitrato amónico del 76 % en peso de nitrato amónico.[19]

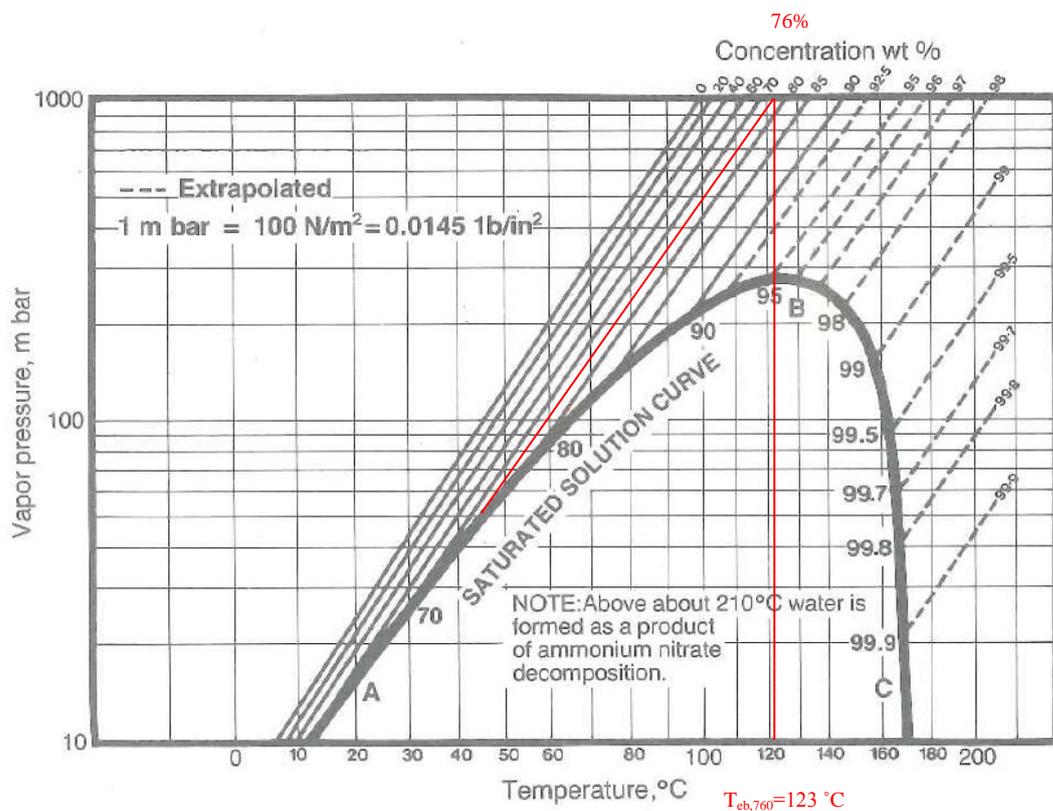


Fig. 5 Vapor pressures over aqueous ammonium nitrate solutions. (Data from Refs. 7, 14, and 15.)

Figura 2.1 Gráfico P-T de una disolución de nitrato amónico a distintas concentraciones

De la gráfica anterior, para una presión atmosférica normalizada de aproximadamente un bar se obtiene una temperatura de ebullición de:

$$T_{eb,760} = 123 \text{ } ^\circ\text{C} = 396,15 \text{ K}$$

Si la presión de vapor de un líquido y su calor de vaporización son conocidos, el punto de ebullición a la presión de interés puede calcularse por la ecuación de Clausius-Clapeyron (*Ecuación 31*).[20]

$$T_{eb,P} = \left(\frac{1}{T_{eb,760}} - \frac{R \cdot \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)}{r} \right)^{-1} \quad (31)$$

La ecuación de Clausius-Clapeyron (*Ecuación 31*), posee los siguientes términos:

- $T_{eb,P}$: Punto de ebullición del líquido a la presión de interés (P), en °C.
- $T_{eb,760}$: Punto de ebullición del líquido a la presión de referencia de 760 mmHg, en °C.
- R : Constante universal de los gases ideales en kJ/kmol·°C
- P : Presión de interés, en atm.
- P_0 : Presión de referencia, en atm.

En la *Tabla 2.1* se recopilan todos los datos a sustituir en la *Ecuación 31*, ecuación de Clausius-Clapeyron.

Tabla 2.1 Términos de la ecuación de Clausius-Clapeyron

Clausius-Clapeyron	
$T_{eb,760}(K)$	396,15
$R \left(\frac{kJ}{kmol \cdot K} \right)$	8,314472
$P (atm)$	3,871
$P_0 (atm)$	1

Sustituyendo los términos en la ecuación:

$$T_{eb,P}(K) = \left(\frac{1}{396,15 K} - \frac{8,314472 \frac{kJ}{kmol \cdot K} \cdot \frac{1}{18,01528 \frac{kg H_2O}{kg H_2O}} \cdot \ln \left(\frac{3,871 atm}{1 atm} \right)}{(-0,00632 \cdot T^2(K)^2 - 1,23827 \cdot T(K) + 2.442,22330) \frac{kJ}{kg}} \right)$$

Despejando la temperatura de ebullición de la ecuación anterior

$$T_{eb,P} = 451,45 K = 178,3 °C \approx 178 °C$$

Por tanto, para un sistema que trabaja a una presión de 4 kg/cm² y concentraciones del orden del 76 % en peso de nitrato amónico, se obtiene una temperatura de ebullición de la mezcla de **178 °C**.

2.2 Corrientes de partida

En este apartado se procede a calcular los caudales másicos de amoniacos gas a 90 °C y de ácido nítrico al 60 % en peso a 115 °C para obtener la producción buscada.

Para una producción de nitrato amónico puro de 1.033 t/día, equivalente a 43.041,67 kg/h, y de acuerdo al esquema estequiométrico de reacción mostrado anteriormente, se prevé una demanda de amoniaco gas tal como el mostrado en la *Tabla 2.3*

Para construir la *Tabla 2.3*, se ha utilizado la *Ecuación 32*:

$$F_j = F_{j0} - \frac{\nu_j}{\nu_k} \cdot X \cdot F_{k0} \left[\frac{\text{kmol } A_j}{h} \right] \quad (32)$$

Ecuación con los siguientes términos:

- F_j : Caudal molar final del componente j, $\text{kmol } A_j/h$.
- F_{j0} : Caudal molar inicial del componente j, $\text{kmol } A_j/h$.
- ν_j : Coeficiente estequiométrico del componente j.
- ν_k : Coeficiente estequiométrico de cada componente clave de la reacción.
- X : Grado de conversión de la reacción.
- F_{k0} : Caudal molar inicial del componente clave, $\text{kmol } A_k/h$.

Para la conversión de caudal másico a caudal molar, se han utilizado los valores de los pesos moleculares de cada especie (*Tabla 2.2*) con una precisión de 5 dígitos.[21]

Tabla 2.2 Pesos Moleculares

Pesos Moleculares	
$PM_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{kmolH_2O} \right)$	18,01528
$PM_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{kmolHNO_3} \right)$	63,00988
$PM_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{kmolNH_3} \right)$	17,02756
$PM_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{kmolNH_4NO_3} \right)$	80,03744

Se toma como A_k , componente clave de la reacción, el amoníaco, puesto que se trata del reactivo limitante.

Se trata de una reacción completa, por lo que el grado de conversión es igual a la unidad.

Aplicando la Ecuación 32 para cada uno de los componentes:

$$F_{NH_3} = 537,77 \frac{kmol}{h} - \frac{(-1)}{(-1)} \cdot 1 \cdot 537,77 \frac{kmol}{h} = 0 \frac{kmol NH_3}{h}$$

$$F_{HNO_3} = 537,77 \frac{kmol}{h} - \frac{(-1)}{(-1)} \cdot 1 \cdot 537,77 \frac{kmol}{h} = 0 \frac{kmol HNO_3}{h}$$

$$F_{NH_4NO_3} = 0 \frac{kmol}{h} - \frac{1}{(-1)} \cdot 1 \cdot 537,77 \frac{kmol}{h} = 537,77 \frac{kmol NH_4NO_3}{h}$$

Recopilando los datos obtenidos en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3 Tabla estequiométrica de la reacción

	NH_3	HNO_3	NH_4NO_3	
$m_{j0} \left(\frac{kg A_j}{h} \right)$	9.156,9	33.884,77	0	Iniciales
$F_{j0} \left(\frac{mol A_j}{h} \right)$	537,77	537,77	0	
$m_j \left(\frac{kg A_j}{h} \right)$	0	0	43.041,67	Finales
$F_j \left(\frac{mol A_j}{h} \right)$	0	0	537,77	
v_j	-1	-1	1	

A continuación, se describe la terminología utilizada en la *Tabla 2.3* para facilitar la comprensión de la misma.

- m_{j0} : Caudal másico inicial (previo a la reacción) del componente j, $kg A_j/h$.
- m_j : Caudal másico final (posterior a la reacción) del componente j, $kg A_j/h$.
- F_{j0} : Caudal molar inicial (previo a la reacción) del componente j, $mol A_j/h$.
- F_j : Caudal molar final (posterior a la reacción) del componente j, $mol A_j/h$.
- v_j : Coeficiente estequiométrico del componente j.

Para mantener la acidez del medio una vez completada la reacción entre el amoniaco gas y el ácido nítrico, la corriente de entrada de ácido nítrico tendrá un valor superior al estequiométricamente necesario.

Se estima una caudal de ácido nítrico adicional al estequiométrico de 262 kg/h. Este caudal adicional de ácido nítrico se requiere para mantener constante una acidez libre en el sistema.

Los valores de las corrientes se redondean a la unidad para trabajar con valores más sencillos. El redondeo no afectará de forma significativa a los cálculos puesto que se trabaja en términos de miles de kilos de material por hora.

Por tanto, la suma del caudal de ácido estequiométrico y el adicional resulta de 34.147 kg/h.

Dado que se trata de una corriente de ácido nítrico al 60 % en peso, se calcula la restante composición de la corriente (Agua).

$$m_{H_2O} = \frac{0,4}{0,6} \cdot 34.147 = 22.765 \frac{kg}{h}$$

Además, se diseña una corriente de agua de lavado de los vapores generados en el concentrador, dicha corriente consiste en agua líquida pulverizada sobre la corriente de gas del concentrador, con las características recogidas en la tabla *Tabla 2.4*.

Recopilando la información de las corrientes 1, 2 y 10 se obtiene la *Tabla 2.4*.

Tabla 2.4 Corrientes 1, 2 y 10

Nº Corriente	1	2	10
Descripción	HNO_3	NH_3	Lavado
$m_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{h} \right)$	-	9.157	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{h} \right)$	34.147	-	-
$m_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	22.765	-	2.500
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{h} \right)$	-	-	-
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	56.912	9.157	2.500
$T \text{ (}^\circ\text{C)}$	115	90	100
$P \left(\frac{kg}{cm^2} \text{ abs} \right)$	7,2	7,4	4

Ambos reactivos, se encuentran a mayor presión que el reactor a la entrada para que la circulación se produzca hacia el interior del reactor.

2.3 Cálculo de la entalpía y la potencia de reacción

En este apartado busca conocerse que cantidad de energía que desprende la reacción.

2.3.1 Cálculo de los calores específicos

Partiendo de la *Tabla 2.3* se determina que, para producir cada kilogramo de nitrato amónico puro, se necesitan 0,2128 kilogramos de amoníaco y 0,7872 kilogramos de ácido nítrico puro. Al tratarse de una disolución al 60 % en peso, 0,5248 kilogramos de agua acompañan al ácido nítrico, y, una vez producida la reacción, acompañarán al nitrato amónico producido, por lo que la concentración de nitrato amónico resultante será de:

$$C_{NH_4NO_3} = \frac{1}{(1 + 0,5248)} = 65,58 \frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}}$$

Partiendo de la correlación obtenida anteriormente (*Ecuación 18*):

$$\bar{C}_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = -0,02562 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 4,20606 \quad (18)$$

Aplicado para una concentración del 65,58 % en peso, válido para cualquier temperatura:

$$\bar{C}_p = 2,526 \left[\frac{kJ}{kg \text{ disolución } NH_4NO_3} \right]$$

Recopilando las correlaciones del calor específico del amoníaco y del ácido nítrico en función de la temperatura (*ecuaciones 34 y 35*):

Amoníaco

$$\bar{C}_p = 0,00197 \cdot T (^{\circ}C) + 2,03348 \left[\frac{kJ}{kg NH_3} \right] \quad (33)$$

Ácido Nítrico

$$\bar{C}_p = 0,00324 \cdot T (^{\circ}C) + 2,62370 \left[\frac{kJ}{kg \text{ disolución } HNO_3} \right] \quad (34)$$

Definiendo la diferencia de calores específicos como la diferencia entre la energía de los productos y los reactivos por masa de nitrato amónico.

$$\begin{aligned} \Delta C_p \left(\frac{kJ}{kg \text{ } NH_4NO_3} \right) = & \\ \frac{m_{\text{disolución}, NH_4NO_3} (kg \text{ disolución } NH_4NO_3)}{m_{NH_4NO_3} (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \\ \cdot \frac{C_{p, \text{disolución}, NH_4NO_3} \left(\frac{kJ}{kg \text{ disolución } NH_4NO_3} \right)}{m_{NH_4NO_3} (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \\ - \frac{m_{\text{disolución}, HNO_3} (kg \text{ disolución } HNO_3)}{m_{NH_4NO_3} (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \quad (35) \\ \cdot \frac{C_{p, \text{disolución}, HNO_3} \left(\frac{kJ}{kg \text{ disolución } HNO_3} \right)}{m_{NH_4NO_3} (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \\ - \frac{m_{NH_3} (kg \text{ } NH_3) \cdot C_{p, NH_3} \left(\frac{kJ}{kg \text{ } NH_3} \right)}{m_{NH_4NO_3} (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \end{aligned}$$

Sustituyendo en la *Ecuación 35* para un kilogramo de nitrato amónico:

$$\begin{aligned} \Delta C_p \left(\frac{kJ}{kg \text{ } NH_4NO_3} \right) = & \\ \frac{(1 + 0,5284)(kg \text{ disolución } NH_4NO_3) \cdot 2,526 \left(\frac{kJ}{kg \text{ disolución } NH_4NO_3} \right)}{1 (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \\ \frac{(0,7872 + 0,5284)(kg \text{ disolución } HNO_3) \cdot (0,00324 \cdot T (^{\circ}C) + 2,62370) \left(\frac{kJ}{kg \text{ disolución } HNO_3} \right)}{1 (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \\ - \frac{0,2128 (kg \text{ } NH_3) \cdot (0,00197 \cdot T (^{\circ}C) + 2,03348) \left(\frac{kJ}{kg \text{ } NH_3} \right)}{1 (kg \text{ } NH_4NO_3)} & \end{aligned}$$

En total se tiene que:

$$\Delta C_p \left(\frac{kJ}{kg NH_4NO_3} \right) = -0,01428 - 0,00467 \cdot T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

2.3.2 Entalpía de reacción

Para una disolución de nitrato amónico del 76 % en peso la entalpía de disolución a 25 °C es de:

$$\Delta H_{disolución}^0 = 95,861 \frac{kJ}{kg}$$

Para una disolución de nitrato amónico del 76 % en peso la entalpía de reacción a 25 °C es de:

$$\Delta H_{reacción}^0 = -1.403,995 \frac{kJ}{kg}$$

Por tanto, la entalpía total resultante de la reacción a 25 °C es la suma de las entalpías de reacción y de disolución.

$$\Delta H_R^0 = -1.308,134 \frac{kJ}{kg}$$

Mediante la Ecuación 36 se obtiene la entalpía de la reacción a 178 °C.

$$\Delta H_R^0(178 \text{ }^\circ\text{C}) = \Delta H_R^0(25 \text{ }^\circ\text{C}) + \int_{T_0=25 \text{ }^\circ\text{C}}^{T=178 \text{ }^\circ\text{C}} \Delta C_p \cdot dT \quad (36)$$

Sustituyendo los términos:

$$\begin{aligned} \Delta H_R^0(178 \text{ }^\circ\text{C}) \left(\frac{kJ}{kg} \right) &= -1.308,134 \left(\frac{kJ}{kg} \right) \\ &+ \int_{T_0=25 \text{ }^\circ\text{C}}^{T=178 \text{ }^\circ\text{C}} (-0,01428 - 0,00467 \cdot T) \left(\frac{kJ}{kg} \right) \cdot dT \end{aligned}$$

Desarrollando:

$$\Delta H_R^0(178 \text{ }^\circ\text{C}) \left(\frac{kJ}{kg} \right) = -1.308,134 \left(\frac{kJ}{kg} \right) +$$

$$\left([-0,01428 \cdot T]_{T=25^{\circ}\text{C}}^{T=178^{\circ}\text{C}} + \left[-0,00467 \cdot \frac{1}{2} \cdot T^2 \right]_{T=25^{\circ}\text{C}}^{T=178^{\circ}\text{C}} \right)$$

Por tanto, queda una entalpía de reacción total a 178 °C de:

$$\Delta H_R^0(178^{\circ}\text{C}) = -1.455,415 \frac{\text{kJ}}{\text{kg NH}_4\text{NO}_3}$$

Por tanto, la reacción genera una cantidad de energía por kilogramos de nitrato amónico producido de **1.455,415 kJ**.

2.3.3 Potencia Generada por el Reactor

La reacción de producción de nitrato amónico es exotérmica y produce una cantidad de energía por kilogramo de nitrato amónico producidos de:

$$-\Delta H_R^0 = 1.455,415 \frac{\text{kJ}}{\text{kg NH}_4\text{NO}_3}$$

Dado que se producen un total de kg de nitrato por hora de 43.041,67 kg/h

El sistema reactivo en estudio produce una potencia calórica de (Ecuación 37):

$$q_{\text{reacción}} = -\Delta H_R^0 \cdot m_{\text{NH}_4\text{NO}_3 \text{ formado}} \quad (37)$$

Sustituyendo:

$$q_{\text{reacción}} = 1.455,415 \frac{\text{kJ}}{\text{kg NH}_4\text{NO}_3} \cdot 43.041,67 \frac{\text{kg NH}_4\text{NO}_3}{\text{h}}$$

Despejando el calor generado por la reacción:

$$q_{\text{reacción}} = 62.643.492,143 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

Aplicando la conversión de 3.600 s/h queda un total de

$$q_{\text{reacción}} = 17.401 \text{ kW}$$

Por tanto, el sistema nos aporta una potencia de **17.401 kW**.

2.4 Corriente de recirculación

2.4.1 Elevación de temperatura máxima en el sistema reactivo

Para calcular la máxima elevación de temperatura que sufre la corriente resultante de la reacción, en caso de no existir recirculación, se procede a realizar un balance de entalpía a las corrientes de paso por el reactor.

Balance de Entalpía

Se parte de la definición de balance general (Figura 2.2).

SALIDA	-	ENTRADA	+	ACUMULACIÓN	=	GENERACIÓN
Salida de propiedad por unidad de tiempo		Entrada de propiedad por unidad de tiempo		Propiedad acumulada por unidad de tiempo		Propiedad generada por unidad de tiempo

Figura 2.2 Definición de balance general

Dicha definición de balance general se utilizará en balances posteriores como punto de partida.

Aplicado un balance de entalpía con los siguientes términos: los términos de las corrientes de entrada al reactor 1 (ácido nítrico al 60%) y 2 (amoníaco gas), el término de la corriente de salida tras reaccionar (5') y añadiendo el término correspondiente de energía aportada por la reacción (Ecuación 38).

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + q_{reacción} = \Delta H_{5'} \quad (38)$$

Balance expresado en términos de cantidad de energía por unidad de tiempo: kJ/h.

$$[m \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta T]_1 + [m \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta T]_2 + q_{reacción} = [m \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta T]_{5'} \quad (39)$$

Conociendo que $m_{5'}$ es la suma de caudales máscicos de las corrientes de entrada 1 y 2 se obtiene a Ecuación 40.

$$m_1 \cdot \overline{C}_{p,1} \cdot (T_1 - T_{ref}) + m_2 \cdot \overline{C}_{p,2} \cdot (T_2 - T_{ref}) +$$

$$q_{reacción} = (m_1 + m_2) \cdot \overline{C}_{p,5'} \cdot (T_{final} - T_{ref}) \quad (40)$$

Se toma 90 °C como temperatura de referencia puesto que es la mínima temperatura que se alcanza en este sistema (alcanzado por la corriente 2 de entrada de amoníaco), y porque minimiza el error cometido en el cálculo de propiedades.

$$(T_{final} - 90) = \frac{m_1 \cdot \overline{C}_{p,1} \cdot (T_1 - 90)}{(m_1 + m_2) \cdot \overline{C}_{p,5'}} + \frac{m_2 \cdot \overline{C}_{p,2} \cdot (T_2 - 90) + q_{reacción}}{(m_1 + m_2) \cdot \overline{C}_{p,5'}} \quad (41)$$

Se calcula la concentración de nitrato amónico final para poder aplicar la correlación calor específico-concentración.

$$C_{NH_4NO_3} = \frac{43.041,67}{(56.912 + 9.157)} \cdot 100 = 65,15 \frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}}$$

Partiendo de la correlación obtenida anteriormente (Ecuación 18):

$$\overline{C}_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = -0,02562 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 4,20606 \quad (18)$$

Aplicándola para la concentración del 65,15 % de nitrato amónico obtenida:

$$\overline{C}_{p,5'} = 2.537 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Los calores específicos de las corrientes 1 y 2 se han calculado en el apartado 2.2.

Recopilando todos los términos numéricos (Tabla 2.5).

Tabla 2.5 Corrientes 1,2 y 5'

Nº Corriente	1	2	5'
Descripción	HNO_3	NH_3	Reaccionado
$m_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{h} \right)$	-	9.157	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{h} \right)$	34.147	-	262
$m_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	22.765	-	22.765
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{h} \right)$	-	-	43.042
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	56.912	9.157	66.069
$T(^{\circ}C)$	115	90	-
$P \left(\frac{kg}{cm^2} abs \right)$	7,2	7,4	4
$\bar{C}_p \left(\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right)$	2,9964	2,21078	2,537

Se denomina como corriente 5' a la corriente posterior a la reacción. Esta corriente está calculada en caso de que no existiera recirculación alguna de material.

A partir de la *Tabla 2.5*, recopilatoria de todos los términos del balance, se obtiene una temperatura final de la corriente de:

$$\begin{aligned}
 (T_{final} - 90)^{\circ}C &= \frac{56.912 \frac{kg}{h} \cdot 2,9964 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot (115 - 90)^{\circ}C}{(56.912 + 9.157) \frac{kg}{h} \cdot 2,537 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}} \\
 &+ \frac{9.157 \frac{kg}{h} \cdot 2,21078 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot (90 - 90)^{\circ}C}{(56.912 + 9.157) \frac{kg}{h} \cdot 2,537 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}} \\
 &+ \frac{62.643.492,143 \frac{kJ}{h}}{(56.912 + 9.157) \frac{kg}{h} \cdot 2,537 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}}
 \end{aligned}$$

Despejando la temperatura final de la expresión anterior:

$$T_{final} = 489,16 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Por tanto, la temperatura de la mezcla de salida del reactor alcanzaría los **489,16** °C previo a entrar en la caldera.

Dado que se trata de un valor de elevación de temperatura excesivo, se introduce una corriente en bucle de recirculación con el fin de asegurar que el nitrato amónico no alcance su temperatura de descomposición.

Se fija un factor de seguridad de 18 °C, respecto de la temperatura de 210 °C a la cual descompondría de forma violenta. La recirculación se diseñará para proporcionar un aumento de temperatura máximo en la reacción de 192 °C.

En la *Tabla 2.6* se muestran las temperaturas alcanzadas por el sistema con y sin recirculación.

Tabla 2.6 Comparativa de valores de elevación de temperatura

	Sin Recirculación	Con Recirculación
T (°C)	489,16	192

Comparando la elevación temperatura alcanzada por la corriente de salida del reactor con recirculación en bucle y sin recirculación (*Tabla 2.6*), puede observarse una diferencia de temperatura notable.

Por tanto, se requiere mantener unas condiciones que aseguren que la mezcla reactiva no alcance una temperatura que pueda derivar en la descomposición explosiva del nitrato amónico a los 210 °C.

2.4.2 Caudal de Recirculación

El bucle de reacción tiene como objeto repartir la carga térmica alcanzada por la reacción entre los moles de la recirculación y los moles de reacción, no solamente entre los moles de reacción.

Para conocerse cuál sería el caudal de recirculación que permite alcanzar como máximo una temperatura de 192 °C se efectúa un balance de entalpía a las corrientes de

entrada y salida del reactor. Para el balance se contempla que las corrientes circulan en estado líquido.

Balace de Entalpía

El sentido físico de este balance radica en la necesidad de conocer qué caudal de recirculación total nos proporcionará un aumento de la temperatura máximo de 192 °C. Esta temperatura proporciona un margen de seguridad de 18 °C respecto de los 210 °C a los que descompone violentamente el nitrato amónico.

Aplicado un balance de entalpía con los siguientes términos: los términos de las corrientes de entrada al reactor 1 (ácido nítrico al 60 %) y 2 (amoníaco gas) y 3 (recirculación del sistema), el término de la corriente de salida tras reaccionar (5) y añadiendo el término correspondiente de energía aportada por la reacción (*Ecuación 24*).

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + q_{reacción} = \Delta H_5 \quad (42)$$

Balace expresado en términos de cantidad de energía por unidad de tiempo:kJ/h.

$$\begin{aligned} [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_1 + [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_2 + [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_3 \\ + q_{reacción} = [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_5 \end{aligned} \quad (43)$$

Conociendo que m_5 es la suma de caudales máscicos de las corrientes de entrada 1, 2 y 3 se tiene la *Ecuación 44*.

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - T_{ref}) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - T_{ref}) + m_3 \cdot \overline{C_{p,3}} \\ \cdot (T_3 - T_{ref}) + q_{reacción} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \overline{C_{p,5}} \cdot (T_{final} - T_{ref}) \end{aligned} \quad (44)$$

Se toma 90 °C como temperatura de referencia puesto que es la mínima temperatura que se alcanza en este sistema (alcanzado por la corriente 2 de entrada de amoníaco), y porque minimiza el error cometido en el cálculo de propiedades.

$$\begin{aligned} (T_{final} - 90) = \frac{m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - 90) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - 90)}{(m_1 + m_2 + m_3) \cdot \overline{C_{p,5}}} \\ + \frac{m_3 \cdot \overline{C_{p,3}} \cdot (T_3 - 90) + q_{reacción}}{(m_1 + m_2 + m_3) \cdot \overline{C_{p,5}}} \end{aligned} \quad (45)$$

Los calores específicos de las corrientes de ácido nítrico, amoníaco, y nitrato amónico al 76 % se han calculado en apartados anteriores, a continuación, se calcula el calor específico de la corriente de salida del reactor.

Partiendo de la correlación obtenida anteriormente (*Ecuación 46*):

$$\overline{C_p} \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = -0,02562 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 4,20606 \quad (46)$$

Para el cálculo del calor específico de la corriente 5 de salida del reactor, se prevé una composición final del 75,56 %. Posteriormente se comprobará la validez de esta asunción. Por tanto, el calor específico es:

$$\overline{C_{p,5}} = 2,27 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Recopilando todos los términos numéricos (*Tabla 2.7*).

Tabla 2.7 Corrientes 1, 2, 3 y 5

Nº Corriente	1	2	3	5
Descripción	HNO_3	NH_3	Recirculación	Salida Reactor
$m_{NH_3} \left(\frac{kg_{NH_3}}{h} \right)$	-	9.157	-	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kg_{HNO_3}}{h} \right)$	34.147	-	-	-
$m_{H_2O} \left(\frac{kg_{H_2O}}{h} \right)$	22.765	-	-	-
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{h} \right)$	-	-	-	-
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	56.912	9.157	-	-
$T \text{ (}^\circ C\text{)}$	115	90	178	197
$P \left(\frac{kg}{cm^2 abs} \right)$	7,2	7,4	4	4
$C_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right)$	2,9964	2,21078	2,2589	2,27

A partir de la *Tabla 2.7*, recopilatoria de todos los términos del balance, se obtiene numéricamente una temperatura final de la corriente de:

$$(192 - 90) \text{ } ^\circ\text{C} = \frac{56.912 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,9964 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (115 - 90) \text{ } ^\circ\text{C}}{(56.912 + 9.157 + m_3) \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,2702 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{9.157 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,21078 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (90 - 90) \text{ } ^\circ\text{C}}{(56.912 + 9.157 + m_3) \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,2702 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}} + \frac{m_3 \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,2589 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (178 - 90) \text{ } ^\circ\text{C} + 62.643.492,143 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{(56.912 + 9.157 + m_3) \frac{\text{kg}}{\text{h}} \cdot 2,27 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}}$$

Despejando el caudal másico de recirculación de la expresión anterior queda:

$$m_3 = 1.575.525 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Por tanto, la recirculación necesaria para proporcionar un aumento de temperatura en la mezcla de 192 °C es de **1.575.525 kg/h**.

2.4.3 Composición de la recirculación

Para determinar la composición de ácido nítrico libre que debe poseer la corriente de recirculación del sistema, se recurre a datos empíricos de funcionamiento en plantas de producción de nitrato amónico.

En industrias del sector de fabricación de fertilizantes como Fertiberia, se utiliza en sus unidades de producción de nitrato amónico el valor de concentración de ácido libre de 6 $\frac{\text{g}}{\text{L}}$. Dicho valor garantiza el compromiso entre vapores producidos libres de amoníaco y un valor despreciable de descomposición del nitrato amónico.[22]

Para una disolución del 76 % de nitrato amónico (corriente de recirculación), la densidad es de:

$$\rho = 1.299,57 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Por tanto, se requerirá un porcentaje de ácido nítrico en la corriente de recirculación de

$$C_{HNO_3} \left(\frac{kg_{HNO_3}}{100 kg_{Total}} \right) = \frac{g_{HNO_3}}{L_{total}} \cdot 1.000 \frac{L_{total}}{m^3_{total}} \cdot \frac{1}{1.000} \frac{kg_{HNO_3}}{g_{HNO_3}} \cdot \frac{1}{1.299,57} \frac{m^3_{total}}{kg_{total}} \cdot 100$$

Despejando:

$$C_{HNO_3} = 0,462 \frac{kg_{HNO_3}}{100 kg_{Total}}$$

Una vez obtenido el porcentaje requerido de ácido nítrico libre se define la composición de la corriente. Se busca obtener una producción con una composición del 76 % de nitrato amónico, por lo que, el caudal de recirculación poseerá el mismo porcentaje. Definidos los porcentajes de dos de los componentes de la corriente, el porcentaje del tercero queda definido. Dado que solamente hay un tercero, el agua, el porcentaje de este se calcula como el total menos el de los otros dos, resultando una composición tal como la mostrada en la *Tabla 2.8*.

Tabla 2.8 Composición de la corriente de recirculación

	Composición
$C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right)$	76
$C_{HNO_3} \left(\frac{kg_{HNO_3}}{100 kg_{Total}} \right)$	0,462
$C_{H_2O} \left(\frac{kg_{H_2O}}{100 kg_{Total}} \right)$	23,538

Los caudales máxicos individuales se calculan a partir del caudal total y el porcentaje en peso de la corriente de recirculación (*Tabla 2.8*):

$$m_{3,HNO_3} = 1.575.525 \frac{kg}{h} \cdot 0,00462 \frac{kg HNO_3}{kg total} = 7.279 \frac{kg HNO_3}{h}$$

$$m_{3,H_2O} = 1.575.525 \frac{kg}{h} \cdot 0,23538 \frac{kg H_2O}{kg total} = 370.847 \frac{kg H_2O}{h}$$

$$m_{3,NH_4NO_3} = 1.575.525 \frac{kg}{h} \cdot 0,76 \frac{kg NH_4NO_3}{kg total} = 1.197.399 \frac{kg NH_4NO_3}{h}$$

Se comprueba que la corriente 5 está compuesta por un 75,56 % de nitrato amónico:

$$C_{NH_4NO_3} = \frac{(1.197.399 + 43.042)}{(56.912 + 9.157 + 1.575.525)} = 75,56 \frac{kg NH_4NO_3}{100 kg total}$$

Por tanto, la asunción es correcta, justificando así el calor específico utilizado en el cálculo del caudal de recirculación.

La recirculación se diseña como elemento de seguridad para el salto térmico, pero el sistema real se mantiene constante a 178 °C, empleando toda la potencia en evaporar parte del agua.

2.4.4. Condiciones de salida del reactor

Una vez completada la reacción, se obtienen unos caudales de salida del reactor de:

$$m_{NH_3} = 9.157 - 9.157 = 0 \frac{kg NH_3}{h}$$

$$m_{HNO_3} = 34.147 \frac{kg HNO_3}{h} + 7.279 \frac{kg HNO_3}{h} - 33.884,77 \frac{kg HNO_3}{h}$$
$$\approx 7.541 \frac{kg HNO_3}{h}$$

$$m_{H_2O} = 22.765 \frac{kg H_2O}{h} + 370.847 \frac{kg H_2O}{h} = 393.612 \frac{kg H_2O}{h}$$

$$m_{NH_4NO_3} = 1.197.399 \frac{kg NH_4NO_3}{h} + 43.041,67 \frac{kg NH_4NO_3}{h}$$
$$\approx 1.240.441 \frac{kg NH_4NO_3}{h}$$

Recopilando la composición y características de las corrientes (Tabla 2.9).

Tabla 2.9 Corrientes 1, 2, 3 y 5

Nº Corriente	1	2	3	5
Descripción	HNO_3	NH_3	Recirculación	Salida Reactor
$m_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{h} \right)$	-	9.157	-	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{h} \right)$	34.147	-	7.279	7.541
$m_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	22.765	-	370.847	393.612
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{h} \right)$	-	-	1.197.399	1.240.441
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	56.912	9.157	1.575.525	1.641.594
$T(^{\circ}C)$	115	90	178	178
$P \left(\frac{kg}{cm^2 abs} \right)$	7,2	7,4	4	4
$C_p \left(\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right)$	2,9964	2,21078	2,2589	2,27

2.5 Concentrador de nitrato amónico

En este apartado se trata el aspecto de la eliminación de parte del agua presente en la corriente 5 de salida del reactor. Se eliminará el agua necesaria para asegurar que tanto la corriente 4 de producción, como la corriente 3 de recirculación poseen una composición en nitrato amónico del 76 %.

2.5.1 Definición de la corriente de producción

Para conocer la cantidad de agua que se requiere separar en el concentrador de nitrato amónico, primero se requiere definir la corriente 4 de producción al completo.

Las corrientes 3 y 4 tienen la misma composición. Por tanto, la composición en nitrato amónico de la corriente 4 será la recopilada en la *Tabla 2.8*.

Para una producción de nitrato amónico puro de 1.033 t/día, equivalente a 43.041,67 kg/h, el valor total de la corriente de producción debe de ser:

$$m_4 = \frac{43.041,67 \frac{\text{kg } NH_4NO_3}{h}}{0,76 \frac{\text{kg } NH_4NO_3}{\text{kg total}}} \approx 56.634 \frac{\text{kg}}{h}$$

Partiendo de este caudal total, los caudales de cada componente se calculan a partir del caudal total y su fracción másica.

$$m_{NH_3} = 0 \frac{\text{kg } NH_3}{h}$$

$$m_{NH_4NO_3} \approx 43.042 \frac{\text{kg } NH_4NO_3}{h}$$

$$m_{HNO_3} = 0,00462 \frac{\text{kg } HNO_3}{\text{kg total}} \cdot 56.634 \frac{\text{kg}}{h} \approx 262 \frac{\text{kg } HNO_3}{h}$$

$$m_{H_2O} = 0,23538 \frac{\text{kg } H_2O}{\text{kg total}} \cdot 56.634 \frac{\text{kg}}{h} \approx 13.330 \frac{\text{kg } H_2O}{h}$$

Por tanto, el caudal en exceso de ácido nítrico incorporado de inicio (262 kg/h) se estimó de forma correcta, puesto que es el mismo caudal que abandona el sistema por la corriente de producción.

2.5.2 Cantidad de agua eliminada en el concentrador

Una vez definida la corriente de producción, se le puede efectuar un balance de materia al sistema concentrador de nitrato amónico para conocer la cantidad de agua que se requiere separar para obtener una concentración del 76 % en nitrato amónico tanto en la corriente 3 de recirculación como en la corriente 4 de producción.

Balance de componente al agua

En la *Figura 2.3* se muestra un esquema de flujo del concentrador, útil para el desarrollo del balance de componente.

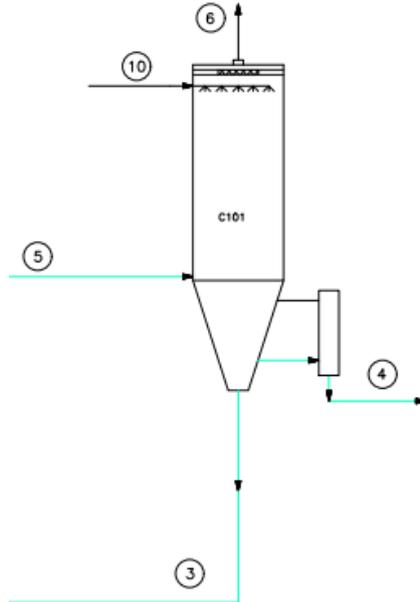


Figura 2.3 Esquema de flujo del concentrador

Aplicando un balance de componente a las corrientes de entrada y salida del concentrador: 5 (corriente posterior al reactor) y 4 (corriente de producción), 3 (recirculación de material) y 6 (producción de vapor del concentrador). El balance tiene unidades de kg H₂O/h (*Ecuación 47*).

$$m_{5,H_2O} + m_{10,H_2O} = m_{6,H_2O} + m_{4,H_2O} + m_{3,H_2O} \quad (47)$$

Despejando del balance el término correspondiente a la producción de vapor en el concentrador (m_{6,H_2O}) (*Ecuación 48*).

$$m_{6,H_2O} = m_{5,H_2O} + m_{10,H_2O} - (m_{4,H_2O} + m_{3,H_2O}) \quad (48)$$

Sustituyendo numéricamente los términos correspondientes del balance

$$m_{6,H_2O} = 393.612 \frac{kg H_2O}{h} + 2.500 \frac{kg H_2O}{h} - 370.847 \frac{kg H_2O}{h} - 13.330 \frac{kg H_2O}{h}$$

Despejando:

$$m_{6,H_2O} = 11.935 \frac{kg H_2O}{h}$$

Se requiere eliminar de la corriente de nitrato amónico un total de **11.935 kg/h** de agua para concentrar el nitrato hasta el 76 %, incluyendo una parte proporcional al agua de lavado que cae sobre la disolución.

2.6 Potencia de la caldera y caudal de vapor producido

2.6.1 Potencia de la caldera

En este apartado, se busca conocer la potencia sobrante de la reacción utilizable en la caldera. En ella, se producirá vapor de alta presión.

A efectos de cálculo, se ha decidido eliminar la corriente 3 de recirculación del sistema puesto que sigue un bucle continuo donde mantiene sus propiedades. Se tratará el resto del sistema para conocer la relación entre las entradas y salidas del sistema, conociendo así, el flujo de calor en cada una de ellas.

El sistema a seguir es el siguiente:

1. Se calculará una temperatura intermedia obtenida como la temperatura derivada de las corrientes 1 y 2 de ácido nítrico y amoníaco respectivamente, y una corriente de salida de nitrato amónico. Esta temperatura es calculada sin añadirle el calor de la reacción.
2. Se calcula la potencia disponible para la caldera como la diferencia entre el calor de reacción menos el calor empleado en elevar la temperatura de las materias primas desde la temperatura intermedia hasta la temperatura de operación (178 °C), menos el calor de evaporación de la cantidad de agua correspondiente de la mezcla en el concentrador.

2.6.1.1 Obtención de la temperatura intermedia (T')

El primer cálculo consiste en obtener la temperatura intermedia resultante. Para ello se parte de la corriente 1 de ácido nítrico al 60 % en peso y la corriente 2 de amoníaco.

Fruto de la reacción entre el amoníaco y el ácido nítrico se produce una corriente de nitrato amónico, pero a efectos del cálculo de esta temperatura intermedia, no se tendrá en cuenta el calor de reacción en esta primera fase. Dicha temperatura intermedia es una temperatura ficticia, que no tiene sentido sin el cálculo posterior.

Aplicando un balance de entalpía a las corrientes del reactor: 1 (ácido nítrico al 60 %) y 2 (amoníaco gas), y una corriente de salida 3' (corriente resultante). Se elimina de este balance, el término correspondiente a la potencia generada por el reactor, puesto que se contemplará en el próximo cálculo. (Ecuación 49)

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 = \Delta H_{3'} \quad (49)$$

Balance expresado en términos de cantidad de energía por unidad de tiempo: kJ/h.

$$[m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_1 + [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_2 = [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_{3'} \quad (50)$$

Conociendo que $m_{3'}$ es la suma de caudales máxicos de las corrientes 1 y 2 y expandiendo la diferencia de temperaturas se tiene la Ecuación 51.

$$\begin{aligned} m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - T_{ref}) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - T_{ref}) \\ = (m_1 + m_2) \cdot \overline{C_{p,3'}} \cdot (T_{3'} - T_{ref}) \end{aligned} \quad (51)$$

Se toma 90 °C como temperatura de referencia puesto que es la mínima temperatura que se alcanza en este sistema (alcanzado por la corriente 2 de entrada de amoníaco), y porque minimiza el error cometido en el cálculo de propiedades.

$$(T_{3'} - 90) = \frac{m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - 90) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - 90)}{(m_1 + m_2) \cdot \overline{C_{p,3'}}} \quad (52)$$

En el apartado 3.2 se trata un caso similar al descrito en este apartado, sin embargo, en el balance de entalpía de dicho apartado sí que se tiene en cuenta el término de potencia generada por la reacción.

Recopilando todos los términos del balance (Tabla 2.10).

Tabla 2.10 Recopilación de términos del balance

Nº Corriente	1	2	3'
Descripción	HNO_3	NH_3	Salida del reactor
$m_{NH_3} \left(\frac{kgNH_3}{h} \right)$	-	9.157	-
$m_{HNO_3} \left(\frac{kgHNO_3}{h} \right)$	34.147	-	262
$m_{H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	22.765	-	22.765
$m_{NH_4NO_3} \left(\frac{kgNH_4NO_3}{h} \right)$	-	-	43.042
$m \left(\frac{kg}{h} \right)$	56.912	9.157	66.069
$T(^{\circ}C)$	115	90	-
$P \left(\frac{kg}{cm^2 abs} \right)$	7,2	7,4	4
$\bar{C}_p \left(\frac{kJ}{kg^{\circ}C} \right)$	2,9964	2,21078	2,537

Sustituyendo los términos en el balance:

$$(T_{3'} - 90)^{\circ}C = \frac{56.912 \frac{kg}{h} \cdot 2,9964 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot (115 - 90)^{\circ}C}{(56.912 + 9.157) \frac{kg}{h} \cdot 2,537 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}} + \frac{9.157 \frac{kg}{h} \cdot 2,21078 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot (90 - 90)^{\circ}C}{(56.912 + 9.157) \frac{kg}{h} \cdot 2,537 \frac{kJ}{kg^{\circ}C}}$$

Despejando la temperatura intermedia del balance:

$$T_{3'} = 115,43^{\circ}C$$

Una vez obtenida la temperatura y composición de la corriente intermedia 3' ya se conocen todas las entradas del posterior balance de entalpía que nos proporcionará el valor de potencia destinada a la caldera.

2.6.1.2 Obtención del calor de la caldera

El segundo cálculo consiste en obtener el calor sobrante para la caldera. A partir de un balance de energía puede obtenerse la cantidad de energía que se destina a cada corriente del sistema.

El calor generado por la reacción, teniendo en cuenta un determinado porcentaje de pérdidas, se reparte entre los siguientes bloques: calentar la corriente intermedia desde su temperatura a la temperatura de operación (178 °C), evaporar la cantidad de agua requerida de la corriente intermedia a 178 °C, enfriar dicha agua hasta su temperatura de saturación (142,9 °C), calentar el agua de lavado de 100 °C hasta la temperatura de saturación (142,9 °C) y evaporarla, y suministrar calor a la caldera para producir vapor de alta presión.

La Figura 2.4 ilustra los términos del balance.

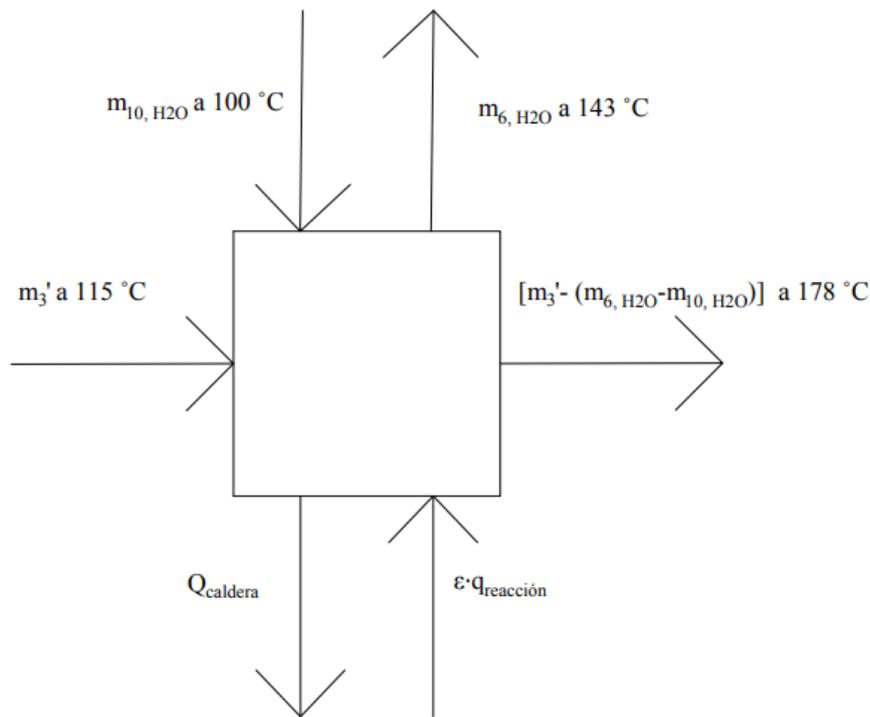


Figura 2.4 Balance ilustrado

Se parte de la corriente intermedia 3' definida en el apartado anterior. Este balance consta de los siguientes términos:

- $\epsilon \cdot q_{reacción}$, un término asociado a la cantidad de calor generado por la reacción incluyendo un rendimiento debido a las pérdidas, en kJ/h.

- $m_{3'} \cdot \overline{C_{p,3'}} \cdot (T_{f,3'} - T_{i,3'})$, un término para la energía requerida para calentar la corriente 3' desde su estado inicial hasta su estado final, en kJ/h.
- $(m_{6,H_2O} - m_{10,H_2O}) \cdot r_{178}$, un término asociado a la entalpía de vaporización del caudal de agua necesario para concentrar el nitrato amónico, kJ/h.
- $(m_{6,H_2O} - m_{10,H_2O}) \cdot (h_{142,9} - h_{178})$, un término asociado al calor que pierde el caudal de agua necesario para concentrar el nitrato amónico para salir a 142,9 °C, kJ/h.
- $m_{10,H_2O} \cdot \overline{C_{p,10}} \cdot (T_{f,10} - T_{i,10})$, un término asociado al calor que gana el caudal de agua de lavado para pasar de 100 a 142,9 °C, kJ/h.
- $q_{caldera}$, un término asociado a la potencia suministrada a la caldera, en kJ/h.

Desarrollando el balance (Ecuación 53):

$$\begin{aligned}
 q_{caldera} = \varepsilon \cdot q_{reacción} - \\
 [m_{3'} \cdot \overline{C_{p,3'}} \cdot (T_{f,3'} - T_{i,3'}) + (m_{6,H_2O} - m_{10,H_2O}) \cdot r_{178} \\
 + (m_{6,H_2O} - m_{10,H_2O}) \cdot (h_{142,9} - h_{178}) \\
 + m_{10,H_2O} \cdot \overline{C_{p,10}} \cdot (T_{f,10} - T_{i,10}) + m_{10,H_2O} \cdot r_{142,9}]
 \end{aligned} \tag{53}$$

Se ha utilizado el subíndice f para denotar el estado final y el subíndice i para denotar el estado de partida.

La temperatura final de la corriente 3' es la temperatura de trabajo, 178 °C. El resto de términos de la corriente 3' se han calculado en el apartado anterior.

Se deducen unas pérdidas de potencia en el sistema del 5 % del total, es decir, de la potencia generada por la reacción. Se trata de valores típicos de pérdidas de energía para sistemas con caldera. Por tanto, queda disponible el 95 % del calor de reacción.

Se toma un valor de calor específico medio para la corriente de agua 10 entre el calor de 100 °C y el de 142,3 °C.

$$\overline{C_{p,10}} = \frac{(4.283,72 + 4.202,88) \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}}{2} = 4.243,3 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C} = 4,243 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

El resto de términos se han calculado con anterioridad y se enumeran, junto con el calor latente de vaporización, en la *Tabla 2.11*.

Tabla 2.11 Términos del balance

ϵ	0,95
$q_{reacción} \left(\frac{kJ}{h} \right)$	62.643.492
$m_{3'} \left(\frac{kg}{h} \right)$	66.069
$\overline{C}_{p,3'} \left(\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right)$	2,537
$T_{f,3'} (^\circ C)$	178
$T_{i,3'} (^\circ C)$	115,43
$m_{10,H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	2.500
$r_{178} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$	2.021,232
$h_{142,9} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$	2.734,68
$h_{178} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$	2.809,032
$T_{f,10} (^\circ C)$	142,9
$T_{i,10} (^\circ C)$	100
$r_{142,9} \left(\frac{kJ}{kg} \right)$	2.136,11
$\overline{C}_{p,10} \left(\frac{kJ}{kg \text{ } ^\circ C} \right)$	4,243
$m_{6,H_2O} \left(\frac{kgH_2O}{h} \right)$	11.935

Sustituyendo los términos en el balance:

$$q_{caldera} = 0,9 \cdot 62.643.492 \frac{kJ}{h} -$$

$$\left[66.069 \frac{kg}{h} \cdot 2,537 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (178 - 115,43)^\circ C + (11.935 - 2.500) \frac{kg}{h} \cdot 2.021,232 \frac{kJ}{kg} \right.$$

$$+ (11.935 - 2.500) \frac{kg}{h} \cdot (2.734,68 - 2.809,032) + 2.500 \frac{kg}{h}$$

$$\cdot 4,243 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (142,9 - 100)^\circ C + 2.500 \frac{kg}{h} \cdot 2.136,11 \frac{kJ}{kg} \left. \right]$$

Despejando el calor disponible para la caldera

$$q_{caldera} = 21.733.222 \frac{kJ}{h}$$

Aplicando la conversión de 3.600 s/h:

$$q_{caldera} = 6.037 \text{ kW}$$

En conclusión, sobra un total de **6.037 kW** de potencia en el sistema disponible para la producción de vapor de alta presión en un sistema intercambio de calor tipo caldera.

2.6.2 Caudal de vapor producido en la caldera

En este apartado se calculará el caudal másico de vapor que se genera fruto del intercambio de calor en la caldera.

El agua entra a la caldera en estado líquido a 163 °C (su temperatura de ebullición) y cambia de estado en la caldera, generando un caudal de vapor de:

$$21.733.222 \frac{kJ}{h} = m \left(\frac{kg}{h} \right) \cdot 2.072,47 \frac{kJ}{kg}$$

Despejando el caudal de vapor producido:

$$m = 10.487 \frac{kg}{h}$$

3. Anexo 3: Diseño del sistema de intercambio de calor

Diseño General de calderas de termosifón

El diseño de las calderas de termosifón se complica por el hecho de que, a diferencia de un hervidor de convección forzada, la velocidad de circulación del fluido no se puede determinar explícitamente. La velocidad de circulación, la velocidad de transferencia de calor y la caída de presión están todas interrelacionadas, y debe utilizarse un diseño iterativo.

La fuerza impulsora para la circulación alrededor del sistema es la diferencia en la densidad del líquido en la rama "fría" (la base de la columna y la tubería de entrada) y el fluido de dos fases en la rama "caliente" (los tubos del intercambiador y la tubería de salida).

El fluido circulará a tal velocidad que las pérdidas de presión en el sistema solo se equilibren con la presión hidrostática disponible. El intercambiador, la base de la columna y la tubería pueden considerarse como las dos patas de un tubo en U (*Figura 3.1*).

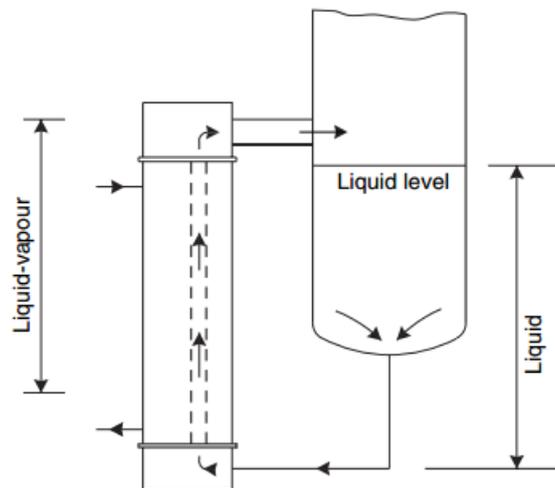


Figura 3.1 *Flujos de vapor y líquido en un rehervidor de termosifón vertical*

Para diseñar la caldera es necesario hacer un balance de presión alrededor del sistema.[23]

Para el diseño de la caldera se utilizará el método de diseño aproximado para mezclas.

Método de diseño aproximado para mezclas

Para mezclas, el análisis simplificado utilizado por Kern (1954) se puede usar para obtener una estimación aproximada del número de tubos requeridos.

Este método utiliza métodos simples y no sofisticados para estimar la caída de presión de dos fases a través del intercambiador y la tubería, y el coeficiente de transferencia de calor por convección.

El procedimiento de cálculo se describe a continuación:

1. Determinar el duty.
2. Calcular el área de transferencia de calor, utilizando el flujo de calor máximo permitido. Tomar 37.900 W/m^2 para rehervidores verticales y 47.300 W/m^2 horizontales.
3. Elegir los diámetros y la longitud de tubo. Calcular el número de tubos necesarios.
4. Estimar el valor de recirculación, no menor de 3.
5. Calcular el caudal de vapor que sale del hervidor para ese duty y el calor de vaporización del líquido.
6. Calcular el caudal de líquido que sale del hervidor para el ratio de vapor y la relación de recirculación.
7. Estimar la caída de presión de dos fases a través de los tubos, debido a la fricción. Utilice el modelo homogéneo u otro método simple, como la ecuación de Lockhart Martinelli.
8. Estimar la presión estática en los tubos.
9. Estimar la presión disponible.
10. Comparar la caída de presión total estimada y la altura disponible. Si la presión disponible es mayor en una cantidad suficiente para permitir la caída de presión a través de las tuberías de entrada y salida, se procede. En caso contrario, volver al paso 2 y aumentar el número de tubos.
11. Calcular el coeficiente de transferencia de calor por convección utilizando métodos simples, como asumir solo la convección o el método de Chen.
12. Calcular el coeficiente de transferencia de calor global.

13. Calcular el coeficiente de transferencia de calor global requerido y compararlo con el estimado. Si es satisfactorio, se acepta el diseño, si no lo es, se retorna al paso 2 y se incrementa el área estimada.[24]

3.1 Calor intercambiado

Se ha determinado en apartados anteriores, una potencia disponible para su empleo en un sistema de caldera con termosifón vertical de **6.037 kW**.

$$q_{caldera} = 21.733.222 \frac{kJ}{h} = 6.037 \text{ kW}$$

3.2 Área global de transferencia de calor

Para estimar el área global de transferencia de calor, se utiliza el flujo máximo de calor por área. Se sigue la recomendación de Kern para sistemas con termosifón vertical, el cual recomienda un flujo máximo de calor de 37.900 W/m²

$$A = \frac{q_{caldera}}{37.900} = \frac{6.037 \cdot 10^3 \text{ W}}{37.900 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}} = 159,3 \text{ m}^2$$

Se obtiene por tanto un área de intercambio de calor de aproximadamente **159,3 m²**.

3.3 Escoger diámetro de los tubos y longitud

Para diseñar los tubos se debe seleccionar el material, la presión de diseño y al menos uno de los diámetros, por ello se comienza por la selección del material.

3.3.1 Material

Se selecciona como material de construcción de la caldera al completo el acero inoxidable austenítico AISI 304L (DIN 14 306), con las características recogidas en la *Tabla 3.1*. [25]

Se selecciona este material por su elevada resistencia a la corrosión y sus propiedades mecánicas aceptables. Dicha corrosión en el sistema está provocada por el exceso de ácido en la corriente de paso por la caldera y por el fuerte carácter ácido del

nitrito amónico. También se selecciona este acero debido a que posee una temperatura de operación máxima de 550 °C, superior a la temperatura de operación del sistema.

Tabla 3.1 Composición del acero inoxidable austenítico AISI 304L

Elemento	Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Otros
Proporción	≤67	≤0,035	≤0,75	≤2	≤0,04	≤0,03	18-20	8-13	-

El acero AISI 304L posee las siguientes propiedades mecánicas (Tabla 3.2). [26]

Tabla 3.2 Propiedades mecánicas del acero AISI 304L

$T_{m\acute{a}x}$ (°C)	550
Límite de fluencia (MPa) (a T=200 °C)	152
Resistencia a la tracción (MPa)	460

Para el cálculo de espesores se requiere calcular algunos parámetros: la tensión de diseño y el coeficiente de unión. Estos parámetros dependen exclusivamente del material elegido y la temperatura de diseño. El material es el acero inoxidable austenítico AISI 304L y la temperatura de diseño es de 200 °C, superior a los 192 °C máximos alcanzables por el sistema.

La tensión de diseño se calcula mediante la siguiente fórmula (Ecuación 54):[27]

$$f = \min \left[\frac{R_{eHt}}{1,5} \text{ ó } \frac{R_{p0,2t}}{1,5}; \frac{R_m}{2,4} \right] \quad (54)$$

La Ecuación 54 posee los siguientes términos:

- R_{eHt} : Límite elástico del material, MPa.
- $R_{p0,2t}$: Límite de fluencia del material, MPa.
- R_m : Resistencia a la tracción, MPa.

Aplicando los datos de la Tabla 3.2 a la ecuación anterior queda:

$$f = \min \left[\frac{152}{1,5}; \frac{460}{2,4} \right] = 101,33$$

El coeficiente de unión, z , se debe utilizar en el cálculo de los espesores de componentes que incluyan una o varias soldaduras a tope, que no sean circunferenciales, y no deben superar los valores siguientes:

- Para equipos sujetos a ensayos destructivos y no destructivos que confirmen que toda serie de uniones no presenta imperfecciones importantes: 1.
- Para equipos sujetos a ensayos aleatorios no destructivos: 0,85.
- Para equipos no sujetos a ensayos destructivos distintos de la inspección visual: 0,7.

Puesto que se está efectuando un cálculo del espesor de los tubos, basado en el valor más seguro, se escoge el valor de 0,7, valor que aumenta el espesor de la pared.

Una vez obtenidos los parámetros anteriores, el espesor de la pared del tubo depende exclusivamente del diámetro exterior y de la presión de diseño, por ello se calcularán los espesores para tuberías de distinto diámetro y/o presión de diseño.

3.3.2 Tuberías normalizadas

En la *Tabla 3.3* se recogen espesores y diámetros de distintos tubos normalizados DIN.[28]

Tabla 3.3 Espesores y diámetros de distintos tubos normalizados DIN

D_N (mm)	D_0 (mm)	DIN 2458		DIN 2448		DIN 2440	
		Espesor (mm)	D_i (mm)	Espesor (mm)	D_i (mm)	Espesor (mm)	D_i (mm)
10	17,2	1,8	13,6	1,8	13,6	2,35	12,5
15	21,3	2	17,3	2	17,3	2,65	16
20	26,9	2	22,9	2,3	22,3	2,65	21,6
25	33,7	2	29,7	2,6	28,5	3,25	27,2
32	42,4	2	38,4	2,6	37,2	3,25	35,9
40	48,3	2,3	43,7	2,6	43,1	3,25	41,8
50	60,3	2,3	55,7	2,9	54,5	3,65	53
63	76,1	2,6	70,9	2,9	70,3	3,65	68,8
80	88,9	2,9	83,1	3,2	82,5	4,05	80,8
100	114	3,2	107,9	3,6	107,1	4,5	105,3
125	140	3,6	132,5	4	131,7	4,85	130
150	168	4	160,3	4,5	159,3	4,85	155,4
200	219	4,5	210,1	5,9	207,3	-	-
250	273	5,1	263	6,3	260,4	-	-
300	324	5,6	312,7	7,1	309,7	-	-
350	356	5,6	344,4	8	339,6	-	-
400	406	6,3	393,8	8,8	388,8	-	-
500	508	6,3	495,4	11	486	-	-
600	610	6,3	597	12,5	584,6	-	-

La tabla anterior recoge las medidas estándar de tubos normalizados.

3.3.3 Tubos de la caldera

Para diseñar los tubos partiendo de un diámetro externo, es necesario determinar la presión de diseño más un factor de seguridad y calcular el espesor de tubo correspondiente. También se determina la temperatura de diseño, superior a la de operación real. En la *Tabla 3.4* se recogen los datos de diseño.

La zona de mayor presión de los tubos de la caldera se encuentra situada en su parte inferior, a la entrada a los tubos, donde la altura de líquido sobre ese punto es de 5,889 m, por lo que ejercerán una presión superior a los 4 kg/cm² de la parte superior de:

$$\Delta P = 5,889 \text{ m} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1.299,57 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{98.066,5} \frac{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 0,765 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Tabla 3.4 Presión de diseño y diámetro de los tubos de la caldera

D_0 (mm)	60,3
$P_{\text{máx}}$ ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	4,765
Factor de Seguridad	1,5
$P_{\text{diseño}}$ ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	7,148
$P_{\text{diseño}}$ (MPa)	0,7

Por seguridad se le aplica un factor de seguridad a la presión máxima de operación.

Para el cálculo del espesor mínimo de la pared de los tubos con una relación $D_0/D_i \leq 1,7$, se utiliza la ecuación *Ecuación 55*: [29]

$$e_{\text{min}} = \frac{P_{\text{Diseño}} \cdot D_0}{2 \cdot f \cdot z + P_{\text{Diseño}}} \quad (55)$$

La *Ecuación 55* posee los siguientes términos:

- e_{min} : Espesor mínimo de la tubería, mm.
- $P_{\text{Diseño}}$: Presión de diseño a la que operará la tubería, MPa.
- D_0 : Diámetro externo, mm.
- f : Tensión de diseño, MPa.

- z : Coeficiente de Unión.

En este momento, el diámetro interior (D_i) no es un valor conocido, así que se supondrá $D_0/D_i \leq 1,7$, ya que es lo más habitual. Una vez se haya seleccionado la tubería normalizada se verificará esta asunción.

Aplicando la *Ecuación 55*:

$$e_{min}(mm) = \frac{0,7 \text{ MPa} \cdot 60,3 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 0,7 \text{ MPa}}$$

El espesor mínimo es de:

$$e_{min} = 0,296 \text{ mm}$$

Una vez hallado el valor del espesor mínimo requerido, deben añadirse una serie de márgenes y tolerancias. Dichos sobre espesores se contemplan en la *Ecuación 56*: [30]

$$e \geq e_{min} + e_0 + e_1 + e_2 \quad (56)$$

La *Ecuación 56* posee los siguientes términos:

- e : Espesor final de la tubería, mm .
- e_{min} : Espesor mínimo de la tubería, mm .
- e_0 : Margen de corrosión o erosión, mm .
- e_1 : Valor absoluto de la tolerancia negativa tomado de las normas del material facilitado por el fabricante, mm .
- e_2 : Margen de adelgazamiento para el posible adelgazamiento durante el proceso de fabricación, mm .

El valor absoluto de la tolerancia negativa facilitado por el fabricante se toma como 1 mm, el margen de adelgazamiento para el caso de tubos rectos, es de 0 mm y el margen de corrosión o erosión se fija en 1 mm.

Sustituyendo en la *Ecuación 56*:

$$e \geq 0,296 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando el espesor final:

$$e \geq 2,296 \text{ mm}$$

Por lo tanto, se requiere de seleccionar un tubo normalizado DIN que posea un espesor superior a los 2,296 mm de espesor mínimo con diámetro externo de 60,3 mm y diámetro nominal de 50 mm. A partir de la *Tabla 3.3* se selecciona el modelo de tubo normalizado DIN 2458, con un espesor de 2,3 mm (superior al mínimo de diseño) y un diámetro interno de 55,7 mm.

Se procede a comprobar que se cumple la relación $D_0/D_i \leq 1,7$.

$$\frac{D_0}{D_i} = \frac{60,3}{55,7} = 1,083 < 1,7$$

Por tanto, la asunción es buena.

3.3.4 Dimensionamiento de los tubos de la caldera

Número de tubos

Para una longitud de los tubos de 4,105 m y refiriendo el área de intercambio de calor al área externa de los tubos, el área por tubo se calcula mediante la *Ecuación 57*.

$$A_{tubo} = \pi \cdot D_0 \cdot L \quad (57)$$

Aplicando la *Ecuación 57*:

$$A_{tubo} = \pi \cdot 60,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot 4,105 \text{ m}$$

Despejando el área por tubo:

$$A_{tubo} = 0,77764 \frac{\text{m}^2}{\text{tubo}}$$

El número de tubos se calcula como el área de transferencia de calor partida por el área de transferencia de calor de cada tubo:

$$N_t = \frac{159,3 \text{ m}^2}{0,77764 \text{ m}^2/\text{tubo}} = 205 \text{ tubos}$$

Por tanto, se obtienen un total de **205 tubos** en el haz.

3.3.5 Dimensionamiento de la coraza de la caldera

Se escoge una distribución de los tubos cuadrada, con un pitch del 1,25. Para dicha distribución de los tubos, el diámetro aproximado del haz se calcula mediante la Ecuación 58:[31]

$$D_b = D_0 \cdot \left(\frac{N_t}{K_1}\right)^{1/n_1} \quad (58)$$

La Ecuación 58 consta de los siguientes términos:

- D_0 : Diámetro exterior del tubo, *mm*.
- D_b : Diámetro del haz, *mm*.
- N_t : Número de tubos.
- n_1 : Constante típica de la ecuación N° 1.
- K_1 : Constante típica de la ecuación N° 2.

Para un único paso por los tubos, y una distribución cuadrada de los tubos con un Pitch de 1,25 veces el diámetro externo de los tubos, se obtiene mediante la Figura 3.2 las constantes típicas de la Ecuación 58.[32]

Triangular pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.319	0.249	0.175	0.0743	0.0365
n_1	2.142	2.207	2.285	2.499	2.675
Square pitch, $p_t = 1.25d_o$					
No. passes	1	2	4	6	8
K_1	0.215	0.156	0.158	0.0402	0.0331
n_1	2.207	2.291	2.263	2.617	2.643

Figura 3.2 Constantes Típicas

Sustituyendo todos los valores en la Ecuación 58:

$$D_b = 60,3 \text{ mm} \cdot \left(\frac{205}{0,215}\right)^{1/2,207}$$

Despejando el diámetro del haz tubular:

$$D_b = 1.350 \text{ mm}$$

Se utiliza una distribución cuadrada o cuadrada girada para un fuerte ensuciamiento del fluido, donde es necesario limpiar mecánicamente el exterior de los tubos. Cuando se utiliza una distribución cuadrada por facilidad de limpieza, el espaciado mínimo entre tubos es de 0,25 pulgadas (6,44 mm). Para una distribución cuadrada con una distancia entre los centros de los tubos (Pitch) de 1,25 veces el diámetro externo, queda un espaciado entre tubos de 15,075 mm.

Conocido el diámetro del haz tubular, se requiere de fijar una distancia entre la lámina del haz de tubos y el diámetro interno de la coraza. Se utilizará una lámina de tubo fijo para un rehervidor vertical de termosifón. En la *Tabla 3.5* se muestra la relación entre el diámetro del haz y la separación haz tubular-coraza.[33]

Tabla 3.5 Espaciado entre el haz tubular y la coraza

D_b (mm)	$D_{i,c} - D_b$ (mm)
200	10
1.200	20

A partir de los datos de la *Tabla 3.5* se obtiene la *Figura 3.3*.

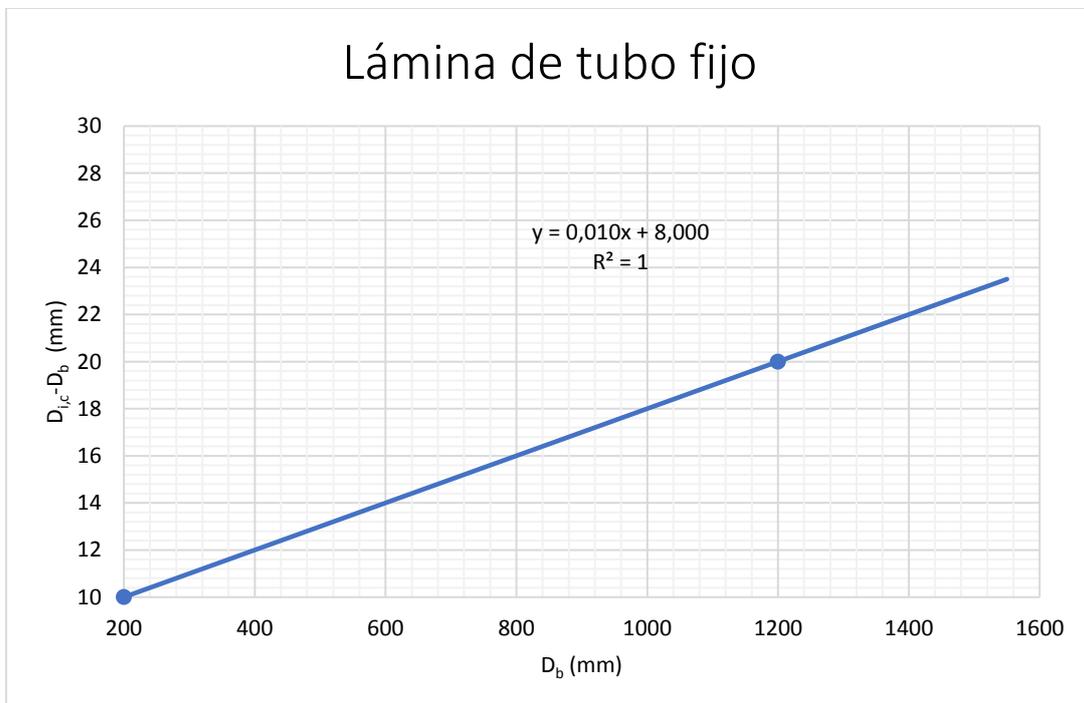


Figura 3.3 Espaciado entre el haz tubular y la coraza

De la *Figura 3.3* se obtiene la *Ecuación 59*:

$$(D_{i,c} - D_b)(mm) = 0,01 \cdot D_b(mm) + 8 \quad (59)$$

Para un diámetro del haz tubular de 1.350 mm:

$$(D_{i,c} - D_b) = 21,5 \text{ mm}$$

Por lo que el diámetro interno de la coraza debe ser igual a:

$$D_{i,c} = 1.350 + 21,5 = 1.371,5 \approx 1.372 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el **diámetro interno de la coraza es de 1.372 mm.**

Para el cálculo del espesor de la coraza, se utilizará la fórmula anteriormente enunciada para el cálculo de espesores de tubería (*Ecuación 55*). El material de construcción de la coraza es el mismo que el de construcción de los tubos, por lo que sus propiedades mecánicas son las mismas.

El punto de mayor presión en la coraza es la entrada del agua a 6,8 kg/cm² pero el sistema se dimensiona por seguridad en caso de fallo en la válvula de entrada del vapor al depósito previo que pudiera provocar un incremento de la presión hasta los 10 kg/cm².

Para el cálculo del espesor, se supondrá de partida un diámetro exterior y se comprobará si con el espesor final, cumple la condición de diámetro interno, calculado anteriormente. Se utiliza como valor de partida para el diámetro externo 1.406 mm. En la *Tabla 3.6* se recogen los datos de diseño.

Tabla 3.6 Valores de diseño

$D_0(mm)$	1.406
$T_{diseño} (°C)$	200
$P_{m\acute{a}x} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	10
Factor de Seguridad	1,5
$P_{diseño} \left(\frac{kg}{cm^2}\right)$	15
$P_{diseño}(MPa)$	1,471

Aplicando todos los términos a la *Ecuación 55*:

$$e_{min} = \frac{1,471 \text{ MPa} \cdot 1.406 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 1,471 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo de la coraza:

$$e_{min} = 14,43 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente para los tubos.

Sustituyendo todos los términos en la Ecuación 56 queda:

$$e \geq 14,43 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 16,43 \text{ mm}$$

Por lo tanto, aplicándole un espesor de 17 mm al diámetro interno de la coraza (1.372 mm) se obtiene un diámetro externo de 1.406 mm, equivalente al supuesto inicialmente, y se aplica la condición de espesor superior a 16,43 mm. Dado que no se han encontrado medidas de coraza nominal, se utiliza el diseño obtenido numéricamente.

En la *Tabla 3.7* se recopila la información de las medidas de los tubos de la caldera y la coraza de la caldera.

Tabla 3.7 Medidas de la coraza y los tubos

	Tubos	Coraza
D_0 (mm)	60,3	1.406
D_N (mm)	50	-
D_i (mm)	55,7	1.372
L (m)	4,105	4,105

3.4 Ratio de recirculación

Para este tipo de sistemas, debe especificarse un ratio de recirculación no menor de 3. Las tuberías de entrada al tambor que proporciona soporte a la caldera tendrán unos diámetros internos de 584,6 mm la tubería gruesa de retorno de la caldera y de 312,7 mm la tubería de salida de líquido del tambor, frente a los 160,3 mm de diámetro interno que tendrá la conducción de salida de vapor del tambor y los 55,7 mm de diámetro que tendrá la entrada de líquido al tambor, por lo tanto, se recirculará una gran cantidad de material de vuelta a la coraza de la caldera.

3.5 Caudales volumétricos, densidades y velocidades del líquido y del vapor

3.5.1 Entrada

3.5.1.1 Fracción vaporizada a la entrada

En este apartado se busca conocer la cantidad de vapor que se produce por la reacción. La corriente posterior a la reacción está a 178 °C y todo el calor de reacción se invierte en evaporar agua de las corrientes de entrada.

Aplicado un balance de entalpía con los siguientes términos: los términos de las corrientes de entrada al reactor 1 (ácido nítrico al 60 %) y 2 (amoníaco gas) y 3 (recirculación del sistema), los términos de las corrientes de salida correspondiente al vapor y a la disolución de la corriente de salida, y añadiendo el término correspondiente de energía aportada por la reacción. (Ecuación 60)

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + q_{reacción} = \Delta H_{5,liq} + \Delta H_{5,vap,e} \quad (60)$$

Balance expresado en términos de cantidad de energía por unidad de tiempo: kJ/h.

Se ha denominado con el subíndice “e” a la corriente de vapor a la entrada a la caldera (inmediatamente posterior a la reacción).

$$\begin{aligned} [m \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta T]_1 + [m \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta T]_2 + [m \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta T]_3 + q_{reacción} \\ = [m \cdot \bar{C}_p \cdot \Delta T]_{5,liq} + [m \cdot r]_{vap,e} \end{aligned} \quad (61)$$

Conociendo que $m_{5,liq}$ es la suma de caudales máscicos de las corrientes de entrada 1, 2 y 3 menos el caudal de gas en la corriente de entrada.

$$m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - T_{ref}) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - T_{ref}) + m_3 \cdot \overline{C_{p,3}} \cdot (T_3 - T_{ref}) + q_{reacción} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \overline{C_{p,5,liq}} \cdot (T_{final} - T_{ref}) + m_{vap,e} \cdot r_{vap} \quad (62)$$

Se toma 90 °C como temperatura de referencia puesto que es la mínima temperatura que se alcanza en este sistema (alcanzado por la corriente 2 de entrada de amoniaco), y porque minimiza el error cometido en el cálculo de propiedades.

$$m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - 90) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - 90) + m_3 \cdot \overline{C_{p,3}} \cdot (T_3 - 90) + q_{reacción} = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \overline{C_{p,5,liq}} \cdot (T_{final} - 90) + m_{vap,e} \cdot r_{vap} \quad (63)$$

Para el cálculo del calor específico se supondrá un valor del 73,9 % en peso de nitrato amónico, posteriormente se comprobará la veracidad de la suposición.

Partiendo de la correlación anteriormente obtenida (Ecuación 18):

$$\overline{C_p} \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = -0,02562 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 4,20606 \quad (18)$$

Para el 73,9 % de concentración:

$$\overline{C_{p,5,liq}} = 2,313 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Anteriormente se obtuvo el calor latente de vaporización de del agua a 142,9 °C.

Sustituyendo los datos en el balance:

$$\begin{aligned} & 56.912 \frac{kg}{h} \cdot 2,9964 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (115 - 90) ^\circ C + 9.157 \frac{kg}{h} \cdot 2,21078 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (90 - 90) ^\circ C \\ & 1.575.525 \frac{kg}{h} \cdot 2,2589 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (178 - 90) ^\circ C + 62.643.492,143 \frac{kJ}{h} \\ & = (56.912 + 9.157 + 1.575.525) \frac{kg}{h} \cdot 2,313 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (178 - 90) ^\circ C + m_{vap,e} \frac{kg}{h} \end{aligned}$$

$$\cdot 2.136,11 \frac{kJ}{kg}$$

Despejando el caudal másico de vapor producido por la reacción:

$$m_{vap,e} = 21.515 \frac{kg}{h}$$

Se evaporan por tanto **21.515 kg/h** de agua en la etapa de proceso previa a la caldera

Para comprobar la asunción del calor específico final se procede a calcular la concentración de nitrato amónico en la disolución resultante.

$$C_{NH_4NO_3} = \frac{1.197.399}{(56.912 + 9.157 + 1.575.525 - 21.515)} = 73,9 \frac{kgNH_4NO_3}{100 kgtotal}$$

Por lo tanto, la asunción de concentración en la disolución final es válida.

Resulta por tanto un porcentaje vaporizado de la corriente de entrada de la caldera tal como el de la *Ecuación 64*.

$$x_e = \frac{m_{vap,e}}{m_5} \cdot 100 \quad (64)$$

Sustituyendo los datos

$$x_e = \frac{21.515 \frac{kg}{h}}{(56.912 + 9.157 + 1.575.525) \frac{kg}{h}} \cdot 100 = 1,31 \%$$

3.5.1.2 Densidad a la entrada

Para calcular la densidad que posee la fase líquida de la corriente de entrada a la caldera, es necesario calcular el porcentaje de nitrato amónico.

$$C_{NH_4NO_3} = \frac{1.240.441}{(1.641.594 - 21.515)} = 76,57 \frac{kgNH_4NO_3}{100 kgtotal}$$

Aplicando la correlación para el 76,57 % en peso de nitrato amónico

$$\rho_{liq,e} = 1.302,4 \frac{kg}{m^3}$$

Calculando el caudal de líquido a la entrada a la caldera:

$$Q_{líq,e} = \frac{m_5 - m_{vap,e}}{\rho_{líq,e}} = \frac{(1.641.594 - 21.515) \frac{kg}{h}}{1.302,4 \frac{kg}{m^3}} = 1243,9 \frac{m^3}{h}$$

A la entrada de la caldera hay una presión debida al nivel de líquido por encima de superior a los 4 kg/cm²de:

$$\Delta P = 5,889 m \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2} \cdot 1.299,57 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1}{98.066,5 \frac{N}{m^2}} = 0,765 \frac{kg}{cm^2}$$

$$P_{entrada} = 4,765 \frac{kg}{cm^2} \cdot \frac{1}{1,033 \frac{kg}{cm^2}} = 4,612 atm$$

Para calcular el caudal de agua evaporada se utilizará la ley de los gases ideales (*ecuación 65*).

$$P \cdot Q = F \cdot R \cdot T \tag{65}$$

Despejando el caudal volumétrico y sustituyendo el caudal molar como la división entre el caudal másico partido por el peso molecular del compuesto (agua).

$$Q_{vap,e} = \frac{m_{vap,e}}{PM_{agua}} \cdot \frac{R \cdot T}{P_e} \tag{66}$$

Sustituyendo todos los términos de la *ecuación 66*. Se utiliza la temperatura de 178 °C debido a que el aumento de temperatura que sufre la corriente tras la reacción se traduce en la evaporación de parte del agua de la corriente.

$$Q_{vap,e} = \frac{21.515 \frac{kg}{h}}{18,01528 \frac{kg}{kmol}} \cdot \frac{0,08205746 \frac{atm \cdot m^3}{kmol \cdot K} \cdot (178 + 273,15)K}{4,612 atm}$$

Despejando el caudal de vapor a la entrada:

$$Q_{vap,e} = 9.586,8 \frac{m^3}{h}$$

Una vez obtenidos los caudales de líquido y de vapor pertenecientes a la corriente de entrada a la caldera, se calcula la densidad en dicho punto.

$$\rho_e = \frac{m_5}{Q_{liq,e} + Q_{vap,e}} = \frac{1.641.594 \frac{kg}{h}}{(1243,9 + 9.586,8) \frac{m^3}{h}} = 151,6 \frac{kg}{m^3}$$

3.5.1.3 Velocidad de flujo a la entrada

Para el cálculo de la velocidad de entrada y salida de la disolución de nitrato amónico y el vapor de agua por los tubos se requiere calcular la sección de paso del total de tubos, para ello se multiplicará la sección de paso de tubo por el número total de tubos. Para un único paso por los tubos la sección es de (ecuación 67):

$$S = N_t \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_t^2 \quad (67)$$

Sustituyendo los términos:

$$S = 205 \cdot \frac{\pi \cdot 0,0557^2 m^2}{4} = 0,5 m^2$$

Una vez calculada la sección de paso del total de tubos, se calcula la velocidad de entrada (Ecuación 68).

$$v_e = \frac{(Q_{liq,e} + Q_{vap,e})}{S} \quad (68)$$

Sustituyendo:

$$v_e = \frac{(1.243,9 + 9.586,8) \frac{m^3}{h}}{0,5 m^2 \cdot 3.600 \frac{s}{h}} = 6 \frac{m}{s}$$

3.5.2 Salida

3.5.2.1 Fracción evaporada a la salida

En este apartado se busca conocer la cantidad de vapor restante a la salida de la caldera. La corriente posterior a la caldera se encuentra a 178 °C, pero posee una menor fracción de agua en estado vapor. Conserva exclusivamente la fracción de vapor requerida para eliminar el agua necesaria en el separador.

Este apartado se resuelve de forma similar al anterior, pero se contempla la caldera como una etapa de pérdida de potencia. Por lo que el cálculo deduce de forma similar, pero añadiendo un término de pérdida de potencia por la reacción.

Aplicado un balance de entalpía con los siguientes términos: los términos de las corrientes de entrada al reactor 1 (ácido nítrico al 60 %) y 2 (amoníaco gas) y 3 (recirculación del sistema), los términos de las corrientes de salida correspondiente al vapor y a la disolución de la corriente de salida, y añadiendo el término correspondiente de potencia aportada por la reacción menos la potencia suministrada a la caldera.

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + (q_{reacción} - q_{caldera}) = \Delta H_{5,liq} + \Delta H_{5,vap,s} \quad (69)$$

Balance expresado en términos de cantidad de energía por unidad de tiempo: kJ/h.

$$\begin{aligned} & [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_1 + [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_2 + [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_3 \\ & + (q_{reacción} - q_{caldera}) = [m \cdot \overline{C_p} \cdot \Delta T]_{5,liq} + [m \cdot r]_{vap,s} \end{aligned} \quad (70)$$

Conociendo que $m_{5,liq}$ es la suma de caudales máscicos de las corrientes de salida 1, 2 y 3 menos el caudal de gas.

$$\begin{aligned} & m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - T_{ref}) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - T_{ref}) + m_3 \cdot \overline{C_{p,3}} \\ & \cdot (T_3 - T_{ref}) + (q_{reacción} - q_{caldera}) \\ & = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \overline{C_{p,5,liq}} \cdot (T_{final} - T_{ref}) \\ & + m_{vap,s} \cdot r_{vap} \end{aligned} \quad (71)$$

Se toma 90 °C como temperatura de referencia puesto que es la mínima temperatura que se alcanza en este sistema (alcanzado por la corriente 2 de entrada de amoníaco), y porque minimiza el error cometido en el cálculo de propiedades.

$$\begin{aligned} & m_1 \cdot \overline{C_{p,1}} \cdot (T_1 - 90) + m_2 \cdot \overline{C_{p,2}} \cdot (T_2 - 90) + m_3 \cdot \overline{C_{p,3}} \cdot (T_3 - 90) \\ & + (q_{reacción} - q_{caldera}) = (m_1 + m_2 + m_3) \cdot \\ & \overline{C_{p,5,liq}} \cdot (T_{final} - 90) + m_{vap,s} \cdot r_{vap} \end{aligned} \quad (72)$$

Para el cálculo del calor específico se supondrá un valor del 73,4 % en peso de nitrato amónico, posteriormente se comprobará la veracidad de la suposición.

Partiendo de la correlación anteriormente obtenida (Ecuación 18):

$$\bar{C}_p \left(\frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \right) = -0,02562 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 4,20606 \quad (18)$$

Para el 73,4 % de concentración:

$$\bar{C}_{p,5,luq} = 2,326 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C}$$

Anteriormente se obtuvo el calor latente de vaporización de del agua a 142,9 °C.

Sustituyendo los datos en el balance:

$$\begin{aligned} & 56.912 \frac{kg}{h} \cdot 2,9964 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (115 - 90) ^\circ C + 9.157 \frac{kg}{h} \cdot 2,21078 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \\ & \quad \cdot (90 - 90) ^\circ C \\ & 1.575.525 \frac{kg}{h} \cdot 2,2589 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (178 - 90) ^\circ C + (62.643.492,143 - 21.733.222) \frac{kJ}{h} \\ & = (56.912 + 9.157 + 1.575.525) \frac{kg}{h} \cdot 2,326 \frac{kJ}{kg \cdot ^\circ C} \cdot (178 - 90) ^\circ C + m_{vap,s} \frac{kg}{h} \\ & \quad \cdot 2.136,11 \frac{kJ}{kg} \end{aligned}$$

Despejando el caudal másico de vapor tras la caldera:

$$m_{vap,s} = 10.462 \frac{kg}{h}$$

Quedan en la fase gas por tanto **10.462 kg/h** de agua tras caldera.

Para comprobar la asunción del calor específico final se procede a calcular la concentración de nitrato amónico en la disolución resultante.

$$C_{NH_4NO_3} = \frac{1.197.399}{(56.912 + 9.157 + 1.575.525 - 10.462)} = 73,4 \frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{total}}$$

Por lo tanto, la asunción de concentración en la disolución final es válida.

Resulta por tanto un porcentaje evaporado de la corriente de salida de la caldera de (Ecuación 73):

$$x_s = \frac{m_{vap,s}}{m_5} \cdot 100 \quad (73)$$

Sustituyendo los datos

$$x_s = \frac{10.462 \frac{kg}{h}}{(56.912 + 9.157 + 1.575.525) \frac{kg}{h}} \cdot 100 = 0,64 \%$$

3.5.2.2 Densidad a la Salida

Se procede a calcular la densidad y los caudales de líquido y vapor de la corriente a la salida de la caldera. Es un cálculo previo al diseño de la caldera.

A partir de la *Ecuación 74* que relaciona la densidad de una disolución de nitrato amónico con porcentaje en peso de nitrato amónico se obtiene la densidad buscada

$$\rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 5,012 \cdot C_{NH_4NO_3} \left(\frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}} \right) + 918,657 \quad (74)$$

Para calcular la densidad de la fase líquida se requiere conocer la concentración de nitrato amónico.

$$C_{NH_4NO_3} = \frac{1.240.441}{(1.641.594 - 10.462)} = 76,05 \frac{kg_{NH_4NO_3}}{100 kg_{Total}}$$

Aplicando la correlación (*Ecuación 74*) para el 76,5 % en peso de nitrato amónico

$$\rho_{liq,s} = 1.299,8 \frac{kg}{m^3}$$

El caudal de líquido de salida se calcula tal que

$$Q_{liq,s} = \frac{m_5 - m_{6,H_2O}}{\rho_{liq,s}} = \frac{(1.641.594 - 10.462) \frac{kg}{h}}{1.299,8 \frac{kg}{m^3}} = 1.255 \frac{m^3}{h}$$

El sistema se diseña para mantener una presión al final de la caldera de 4 kg/cm² y una temperatura de 178 °C.

$$P_s = 4 \frac{kg}{cm^2} \cdot \frac{1}{1,033 \frac{kg}{cm^2}} \frac{atm}{kg/cm^2} = 3,87136 atm$$

Para calcular el caudal de agua evaporada se utilizará la ley de los gases ideales (*Ecuación 65*):

$$P \cdot Q = F \cdot R \cdot T \quad (65)$$

Despejando el caudal volumétrico y sustituyendo el caudal molar como la división entre el caudal másico partido por el peso molecular del compuesto (agua).

$$Q_{vap,s} = \frac{m_{vap,s}}{PM_{agua}} \cdot \frac{R \cdot T}{P_s} \quad (75)$$

Sustituyendo todos los términos de la ecuación:

$$Q_{vap,s} = \frac{10.462 \frac{kg}{h}}{18,01528 \frac{kg}{kmol}} \cdot \frac{0,08205746 \frac{atm \cdot m^3}{kmol \cdot K} \cdot (178 + 273,15) K}{3,87136 atm} = 5.553,3 \frac{m^3}{h}$$

Una vez obtenidos los caudales de líquido y de vapor pertenecientes a la corriente de salda de la caldera, se calcula la densidad en dicho punto.

$$\rho_s = \frac{m_5}{Q_{liq,s} + Q_{vap,s}} = \frac{1.641.594 \frac{kg}{h}}{(1.255 + 5.553,3) \frac{m^3}{h}} = 241,1 \frac{kg}{m^3}$$

Desarrollando la *Ecuación 76* para la salida de los tubos:

$$v_s = \frac{(Q_{liq,s} + Q_{vap,s})}{S} \quad (76)$$

Sustituyendo para nuestros datos:

$$v_s = \frac{(1254,9 + 5.553,3) \frac{m^3}{h}}{0,5 m^2 \cdot 3.600 \frac{s}{h}} = 3,78 \frac{m}{s}$$

Queda demostrado que, para el diámetro seleccionado de tubos, las velocidades de circulación se encuentran dentro del régimen de circulación aceptable.

3.6 Presión disponible.

En este apartado se calcula la fuerza impulsora del movimiento del fluido a través del sistema. La diferencia de densidad de la mezcla entre ambas ramas del sistema actúa como fuerza impulsora del movimiento del fluido.

Para obtener la presión disponible en el sistema se calculará la diferencia de presión creada en la rama derecha del sistema y se le restará la diferencia de presión de la rama izquierda del sistema (*ecuación 77*).

$$\Delta P_{disponible} = \Delta P_d - \Delta P_i \quad (77)$$

La ecuación x consta de los siguientes términos:

- ΔP_d : Diferencia de presión de la rama derecha del sistema, N/m².
- ΔP_i : Diferencia de presión de la rama izquierda del sistema, N/m².

La rama derecha va desde el eje vertical del centro del concentrador situado a la altura del centro de la conducción de entrada al concentrador hasta la altura igual a la parte inferior de los tubos de la caldera. La diferencia de presión entre ambos puntos se calcula mediante la diferencia de alturas.

La rama izquierda va desde la parte inferior de los tubos de la caldera hasta el centro de la conducción de entrada al concentrador. La diferencia de presión entre ambos puntos se calcula como la suma de la diferencia de presión estática a lo largo de los tubos más la altura desde la salida de los tubos de la caldera hasta el centro de la conducción de entrada al concentrador. La *Ecuación 78* muestra dicho balance de presiones.

$$\Delta P_{disponible} = (\rho \cdot g \cdot \Delta z)_d - [(\rho \cdot g \cdot \Delta z)_i + \Delta P_{st}] \quad (78)$$

Diferencia de presión estática en los tubos

Asumiendo que la variación de la densidad desde la base hasta la cabeza de la caldera en los tubos es lineal, la caída de presión estática en los tubos se calcula mediante la *Ecuación 79*. [31]

$$\Delta P_{st} = g \cdot \int_0^L \frac{dx}{v_i + \frac{x \cdot (v_0 - v_i)}{L}} \quad (79)$$

La Ecuación 79 posee los siguientes términos:

- ΔP_{st} : Pérdida de presión estática, N/m².
- g : Constante de gravitación universal, m/s².
- L : longitud total de los tubos, m .
- x : longitud de los tubos, m .
- v_0 : Volumen específico de salida, m³/kg.
- v_i : Volumen específico de entrada, m³/kg.

Integrando la Ecuación 79 se obtiene la Ecuación 80.

$$\Delta P_{st} = \frac{g \cdot L}{(v_0 - v_i)} \cdot \ln\left(\frac{v_0}{v_i}\right) \quad (80)$$

En primera instancia se calculan los volúmenes específicos de las corrientes de paso por los tubos mediante las Ecuaciones 81 y 82:

$$v_0 = \frac{1}{\rho_s} \quad (81)$$

$$v_i = \frac{1}{\rho_e} \quad (82)$$

Sustituyendo los datos:

$$v_0 = \frac{1}{241,1 \frac{kg}{m^3}} = 4,147 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$$

$$v_i = \frac{1}{151,6 \frac{kg}{m^3}} = 6,598 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$$

Sustituyendo los volúmenes específicos en la Ecuación 80:

$$\Delta P_{st} = \frac{9,80665 \frac{m}{s^2} \cdot 4,105 m}{\left(4,147 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kg} - 6,598 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kg}\right)} \cdot \ln \left(\frac{4,147 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kg}}{6,598 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{kg}} \right)$$

Despejando la pérdida de presión estática:

$$\Delta P_{st} = 7.627,2 \frac{N}{m^2}$$

Diferencia de presión desde la salida de los tubos al centro de la conducción

Este tramo va desde la altura de la salida de los tubos de la caldera hasta el centro de la conducción de entrada al concentrador

La diferencia de presión entre ambos puntos se calcula mediante la diferencia de alturas entre los puntos anteriormente mencionados y es de 1,9864 m. La densidad en ese tramo es la correspondiente a la salida de los tubos y es de 241,1 kg/m³, por tanto, la pérdida de presión en ese tramo es de:

$$\left(241,1 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2} \cdot 1,9864 m\right) = 4.697 \frac{N}{m^2}$$

Diferencia de presión de la rama derecha

La diferencia de presión entre ambos puntos se calcula mediante la diferencia de alturas entre los puntos anteriormente mencionados y es de 5,7795 m. La densidad de la corriente de nitrato amónico al 76 % en peso es de 1.299,57 kg/m³.

$$\left(1.299,57 \frac{kg}{m^3} \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2} \cdot 5,7795 m\right) = 73.656,4 \frac{N}{m^2}$$

Por lo tanto, sustituyendo en la ecuación 78:

$$\Delta P_{disponible} = 73.656,4 \frac{N}{m^2} - [4.697 + 7.627,2] \frac{N}{m^2} = 61.332,2 \frac{N}{m^2}$$

3.7 Pérdida de presión

3.7.1 Tubos

Para estimar la pérdida de presión bifásica por los tubos, debida a la fricción puede usarse el modelo homogéneo, con un parámetro de corrección empírico que tiene en cuenta el cambio en las propiedades físicas con la temperatura (*Ecuación 83*). Normalmente solo el cambio en la viscosidad está contemplado.[34]

$$\Delta P = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{D_i}\right) \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-m} \quad (83)$$

La *Ecuación 83* posee los siguientes términos:

- ΔP : Pérdida de presión a lo largo de los tubos, N/m².
- j_f : Factor de fricción.
- L : Longitud de los tubos, m.
- ρ : Densidad del fluido, kg/m³.
- v : Velocidad del fluido, m/s.
- μ : Viscosidad del fluido, Pa·s.
- μ_w : Viscosidad del agua, Pa·s.
- D_i : Diámetro interno de los tubos, m.
- m : Parámetro característico de la ecuación.

Primeramente, se calcula el Reynolds a la entrada y a la salida de la caldera mediante las *Ecuaciones 84 y 85*.

$$Re_e = \frac{\rho_e \cdot v_e \cdot D_i}{\mu} \quad (84)$$

$$Re_s = \frac{\rho_s \cdot v_s \cdot D_i}{\mu} \quad (85)$$

Sustituyendo:

$$Re_e = \frac{149,3 \frac{kg}{m^3} \cdot 6 \frac{m}{s} \cdot 55,7 \cdot 10^{-3} m}{4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s} = 1,03 \cdot 10^5$$

$$Re_s = \frac{241,1 \frac{kg}{m^3} \cdot 3,78 \frac{m}{s} \cdot 55,7 \cdot 10^{-3} m}{4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s} = 1,03 \cdot 10^5$$

Dado que tanto a la entrada como a la salida el número de Reynolds es superior a 4.000, el fluido en circulación por los tubos, circula en régimen turbulento. El parámetro característico de la *Ecuación 83* posee un valor para régimen turbulento de 0,14.

El factor de fricción puede obtenerse entrando a la *Figura 3.4* mediante el valor del Reynolds, que es el mismo para la entrada y la salida.[35]

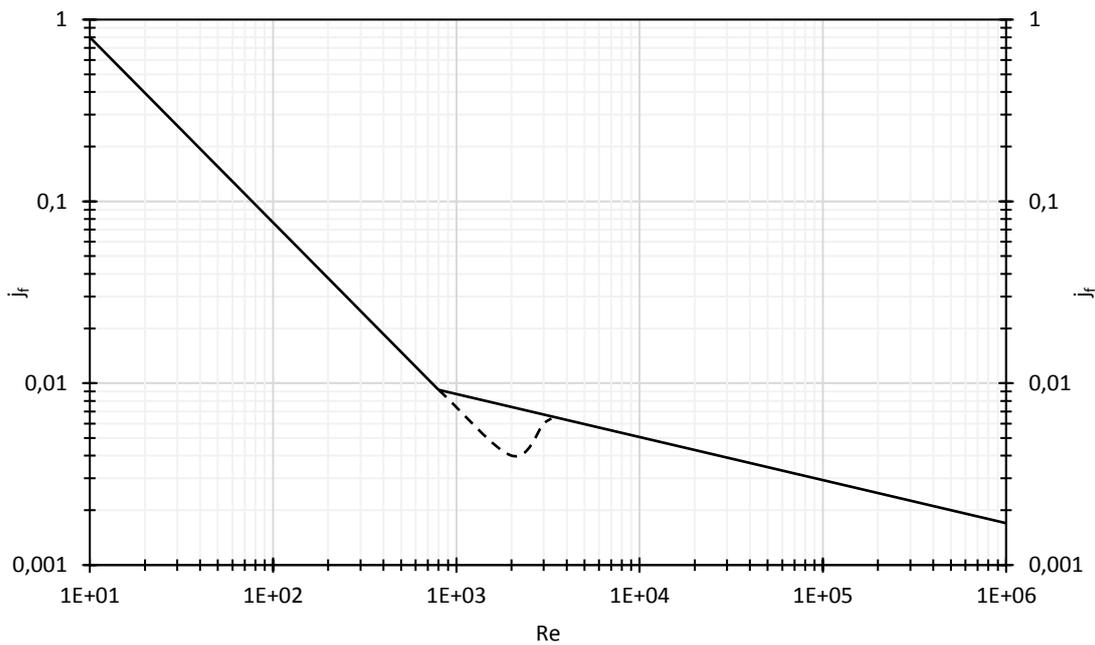


Figura 3.4 Factores de fricción del lado tubos

Para un número de Reynolds de $1,03 \cdot 10^5$ se obtiene de la *Figura 3.4* un factor de fricción de:

$$j_f = 2,75 \cdot 10^{-3}$$

Una vez obtenidos todos los términos de la *Ecuación 83*, se calcula la pérdida de presión por unidad de longitud a lo largo de los tubos para la entrada y la salida (*Ecuaciones 86 y 87*):

$$\Delta P_e = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{D_i}\right) \cdot \frac{\rho_e \cdot v_e^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-m} \quad (86)$$

$$\Delta P_s = 8 \cdot j_f \cdot \left(\frac{L}{D_i}\right) \cdot \frac{\rho_s \cdot v_s^2}{2} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{-m} \quad (87)$$

Sustituyendo los datos:

$$\Delta P_e = 8 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{L}{55,7 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot \frac{151,6 \frac{kg}{m^3} \cdot 6^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{2} \cdot \left(\frac{4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}{1,541 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}\right)^{-0,14}$$

$$\Delta P_s = 8 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{L}{55,7 \cdot 10^{-3}}\right) \cdot \frac{241,1 \frac{kg}{m^3} \cdot 3,78^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{2} \cdot \left(\frac{4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}{1,541 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}\right)^{-0,14}$$

Despejando las pérdidas de presión por unidad de longitud:

$$\Delta P_e = 922,5 \cdot L \frac{N}{m^2}$$

$$\Delta P_s = 579,9 \cdot L \frac{N}{m^2}$$

Haciendo la media entre la entrada y la salida:

$$\Delta P = 751,2 \cdot L \frac{N}{m^2}$$

Aplicado para una longitud de los tubos de 4,105 m:

$$\Delta P = 3.083,6 \frac{N}{m^2}$$

3.7.2 *Ensanchamiento y Constricción*

A la entrada en los tubos y a la salida de los mismos hay una pérdida de presión originada por la constricción y el ensanchamiento en el flujo del fluido.

Para el cálculo de la pérdida de presión en los ensanchamientos y las constricciones se utiliza la *Ecuación 88*. [36]

$$\Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (88)$$

La constante característica se calcula mediante la *Ecuación 89*:

$$K = \left[1 - \frac{D_1^2}{D_2^2} \right]^2 \quad (89)$$

La *Ecuación 89* consta de los siguientes términos:

- K : Constante característica
- D_1 : Diámetro del tubo estrecho, m.
- D_2 : Diámetro del tubo ancho, m.

La constante es la misma para la constricción de la entrada que para el ensanchamiento a la salida, puesto que se trata de un ensanchamiento y un estrechamiento bruscos ambos con la misma relación de diámetros.

$$K = \left[1 - \frac{0,0557^2 m^2}{1,372^2 m^2} \right]^2 \approx 1$$

Debido a la gran diferencia entre los diámetros, la distorsión en el flujo es elevada, y la constante toma su máximo valor, la unidad.

Aplicando la *Ecuación 88* para la entrada:

$$\Delta P = 1 \cdot \frac{151,6 \frac{kg}{m^3} \cdot 6^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

Despejando la pérdida de presión:

$$\Delta P = 2.749 \frac{N}{m^2}$$

Aplicando la *Ecuación 88* para la salida:

$$\Delta P = 1 \cdot \frac{241,1 \frac{kg}{m^3} \cdot 3,78^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

Despejando la pérdida de presión:

$$\Delta P = 1.728 \frac{N}{m^2}$$

3.7.3. Pérdida de presión por aceleración

Debido a la aceleración que sufre el fluido tras la reacción por la generación de vapor, es necesario contabilizar una pérdida de presión, dicha pérdida se calcula mediante la Ecuación 90.[37]

$$\Delta P_a = \frac{1}{g_c} \cdot \int \rho_{tp} \cdot V_{tp} \cdot dV_{tp} = \frac{G_T}{g_c} \cdot (V_{tp,out} - V_{L,in}) \quad (90)$$

La Ecuación 90 consta de los siguientes términos:

- ΔP_a : Pérdida de presión por aceleración del fluido, lb/ft².
- G_T : Gasto másico, lb/ft²·s.
- g_c : Factor de conversión, lb/s².
- $V_{tp,out}$: Velocidad bifásica de salida, ft/s.
- $V_{L,in}$: Velocidad de entrada del líquido, ft/s.

El factor de conversión tiene un valor constante de:

$$g_c = 32,2 \frac{ft}{s^2}$$

La sección donde se produce la reacción es una sección cilíndrica de diámetro interno igual al diámetro interno de la coraza (1.762 mm) (Ecuación 91).

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D_{i,c}^2 \quad (91)$$

Sustituyendo:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (1,372)^2 m^2 = 1,48 m^2$$

El gasto másico por los tubos se calcula mediante la Ecuación 92:

$$G_T \left(\frac{lb}{ft^2 \cdot s} \right) = \frac{m_5 \left(\frac{lb}{s} \right)}{S(ft^2)} \quad (92)$$

Sustituyendo los datos en la *Ecuación 92*:

$$G_T \left(\frac{lb}{ft^2 \cdot s} \right) = \frac{1.641.594 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1}{3.600} \frac{h}{s} \cdot 2,20462 \frac{lb}{kg}}{1,48 m^2 \cdot 10,7639 \frac{ft^2}{m^2}}$$

Despejando el gasto másico:

$$G_T = 63,2 \frac{lb}{ft^2 \cdot s}$$

La velocidad bifásica de salida se calcula mediante los caudales de líquido y de gas de entrada a la caldera (salida de la reacción) y la sección de paso (*Ecuación 93*):

$$V_{tp,out} = \frac{(Q_{liq,e} + Q_{vap,e})}{S} \quad (93)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior:

$$V_{tp,out} = \frac{(1.243,9 + 9.586,8) \frac{m^3}{h}}{1,48 m^2} = 7.325,8 \frac{m}{h} \cdot \frac{1}{3.600} \frac{h}{s} \cdot 3,28084 \frac{ft}{m} = 6,68 \frac{ft}{s}$$

Anteriormente se determinó que la concentración de nitrato amónico en la corriente posterior a la reacción es del 75,56 % en peso. Aplicando la *Ecuación 19* se obtiene una densidad de:

$$\rho = 1.297,4 \frac{kg}{m^3}$$

La velocidad de entrada del líquido se calcula mediante el caudal de líquido de entrada y la sección de paso. (*Ecuación 94*)

$$V_{L,in} = \frac{m_5}{\rho \cdot S} \quad (94)$$

Sustituyendo en la ecuación:

$$V_{L,in} = \frac{1.641.594 \frac{kg}{h}}{1.297,4 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,48 m^2} = 854,93 \frac{m}{h} \cdot \frac{1}{3.600} \frac{h}{s} \cdot 3,28084 \frac{ft}{m} = 0,78 \frac{ft}{s}$$

Obtenidos todos los términos se sustituye en la *Ecuación 90*.

$$\Delta P_a = \frac{63,2 \frac{lb}{ft^2 \cdot s}}{32,2 \frac{ft}{s^2}} \cdot (6,68 - 0,78) \frac{ft}{s}$$

Despejando la pérdida de presión:

$$\Delta P_a = 11,57 \frac{lb}{ft^2} \cdot 10,7639 \frac{ft^2}{m^2} \cdot \frac{1}{2,20462} \frac{kg}{lb} \cdot 9,80665 \frac{N}{kg} = 553,9 \frac{N}{m^2}$$

3.7.4 Más Pérdidas

A efectos de conocer la presión disponible, se requiere conocer las pérdidas de carga a lo largo de todo el sistema. Por ello a continuación, se calculan las pérdidas de carga en los principales puntos de pérdida de carga.

Desde el concentrador de nitrato amónico hasta la entrada al reactor, la disolución de nitrato amónico pasa por un tramo recto, dos codos, una válvula de mariposa y otros dos tramos rectos, después pasa por un difusor de entrada al reactor.

Pasado el reactor y la caldera, la corriente pasa por un codo de magnitudes similares a los dos anteriores y por un tramo recto. En estos dos casos, la pérdida de presión será considerablemente menor puesto que la corriente se compone de una fase gas y una líquida.

Para conocer la pérdida de presión de estos tramos se requiere dimensionar las tuberías y codos.

3.7.4.1 Espesor de tuberías y codos superiores

Toda la sección superior se encuentra a 4,0 kg/cm².

De la *Tabla 3.3* se escoge un diámetro externo de 508 mm.

Tabla 3.8 Presión de diseño y diámetro de los tubos y codos superiores

D_0 (mm)	508
$P_{m\acute{a}x}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	4,0
Factor de Seguridad	1,5
$P_{dise\tilde{n}o}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	6,0
$P_{dise\tilde{n}o}$ (MPa)	0,59

Por seguridad se le aplica un factor de seguridad a la presión máxima de operación.

Aplicando todos los términos a la Ecuación 55:

$$e_{min} = \frac{0,59 \text{ MPa} \cdot 508 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 0,59 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo de la coraza:

$$e_{min} = 2,1 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente para los tubos.

Sustituyendo todos los términos en la Ecuación 56 queda:

$$e \geq 2,1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 4,1 \text{ mm}$$

Se escogen tubos normalizados DIN 2458 con un espesor de 6,3 mm y diámetro interno de 495,4 mm.

3.7.4.2 Espesor del Concentrador

Toda la sección superior se encuentra a 4,0 kg/cm². Se busca obtener un diámetro interno de 2.000 mm. Para ello, se supondrá un diámetro externo y posteriormente se verificará que se cumpla la asunción. Se asume un diámetro externo de 2.022 mm.

Tabla 3.9 Presión de diseño y diámetro del concentrador

D_0 (mm)	2.022
$P_{m\acute{a}x}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	4,0
Factor de Seguridad	1,5
$P_{dise\tilde{n}o}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	6,0
$P_{dise\tilde{n}o}$ (MPa)	0,59

Por seguridad se le aplica un factor de seguridad a la presión máxima de operación.

Aplicando todos los términos a la Ecuación 55:

$$e_{min} = \frac{0,59 \text{ MPa} \cdot 2.022 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 2.022 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo de la coraza:

$$e_{min} = 8,35 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente para los tubos.

Sustituyendo todos los términos en la Ecuación 56 queda:

$$e \geq 8,35 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 10,35 \text{ mm}$$

Se selecciona un espesor de 11 mm para la pared del concentrador. Por tanto, el diámetro interno es de:

$$D_i = 2.022 \text{ mm} - 11 \text{ mm} \cdot 2 = 2.000 \text{ mm}$$

Por tanto, la asunción de diámetro externa es válida.

3.7.4.3 Espesor de tuberías y codos inferiores

La zona de mayor presión del tubo de recirculación se encuentra situada en su parte inferior, a la entrada a los tubos, donde la altura de líquido sobre ese punto es de 8,84 m, por lo que ejercerán una presión superior a los 4 kg/cm² de la parte superior de:

$$\Delta P = 8,84 \text{ m} \cdot 9,80665 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 1.299,57 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{98.066,5} \frac{\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{\frac{\text{N}}{\text{m}^2}} = 1,15 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

De la *Tabla 3.3* se escoge un diámetro externo de 508 mm.

Tabla 3.10 Presión de diseño y diámetro de los tubos y codos inferiores

D_0 (mm)	508
$P_{\text{máx}}$ ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	5,15
Factor de Seguridad	1,5
$P_{\text{diseño}}$ ($\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$)	7,72
$P_{\text{diseño}}$ (MPa)	0,76

Por seguridad se le aplica un factor de seguridad a la presión máxima de operación.

Aplicando todos los términos a la *Ecuación 55*:

$$e_{\text{min}} = \frac{0,76 \text{ MPa} \cdot 508 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 0,76 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo:

$$e_{\text{min}} = 2,7 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente. Sustituyendo todos los términos en la *Ecuación 56* queda:

$$e \geq 2,7 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 4,7 \text{ mm}$$

Se escogen tubos normalizados DIN 2458 con un espesor de 6,3 mm y diámetro interno de 495,4 mm.

3.7.4.4 Pérdidas de presión a la salida del concentrador

Hay un estrechamiento paulatino hasta la salida del concentrador. El diámetro se reduce de 2.000 mm que mide de ancho el concentrador a 495,4 mm que mide la conducción de salida.

El estrechamiento se produce a lo largo de 2,8 m aproximadamente, por lo que se considera un estrechamiento gradual de la sección (una tobera). Puesto que el líquido aumenta su velocidad al pasar por la tobera, también disminuye su presión. Por tanto, las condiciones no favorecen la formación de torbellinos en el flujo, siendo casi la totalidad de las pérdidas de carga que se producen debidas al rozamiento. Los valores de la constante característica suelen oscilar entre 0,02 y 0,04, valores próximos a cero, por lo que las pérdidas de carga se consideran despreciables.[38]

.4.4.1 Tubería de salida de la recirculación

Los tramos rectos del tramo de recirculación son tres: un tramo de 4,974 m hasta llegar al primer codo, un segundo tramo de 1,100 m hasta llegar a la válvula de mariposa y un tercer tramo recto de 1,100 m hasta el codo de entrada al reactor. Los tres tramos rectos son del mismo diámetro y suman un total de 7,174 m.

Para el cálculo de la pérdida de presión en los tres, se utilizará la *Ecuación 83*. Para conocer el factor de fricción se requiere conocer primero el número de Reynolds de circulación:

Para un diámetro de tubería de 0,4954 m, la velocidad es de:

$$v = \frac{1.575.525 \frac{kg}{h} \cdot \frac{1}{3.600} \frac{h}{s} / 1.299,57 \frac{kg}{m^3}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,4954^2 m^2}$$

Despejando la velocidad:

$$v = 1,75 \frac{m}{s}$$

Calculando el número de Reynolds:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu} = \frac{1299,57 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,75 \frac{m}{s} \cdot 0,4954 m}{4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}$$

Despejando el número de Reynolds:

$$Re = 2,28 \cdot 10^6$$

A partir de la *Figura 3.4* puede extrapolarse el valor del factor de fricción para un número de Reynolds de $2,28 \cdot 10^6$. Se obtiene un factor de fricción de:

$$j_f = 1,5 \cdot 10^{-3}$$

A continuación, se calculan las pérdidas de presión para ambos codos. Se trata de dos codos de gran curvatura con un diámetro de tubería de 49,54 cm. Se calculará su longitud equivalente en tramo recto mediante la *Figura 3.5*. [39]

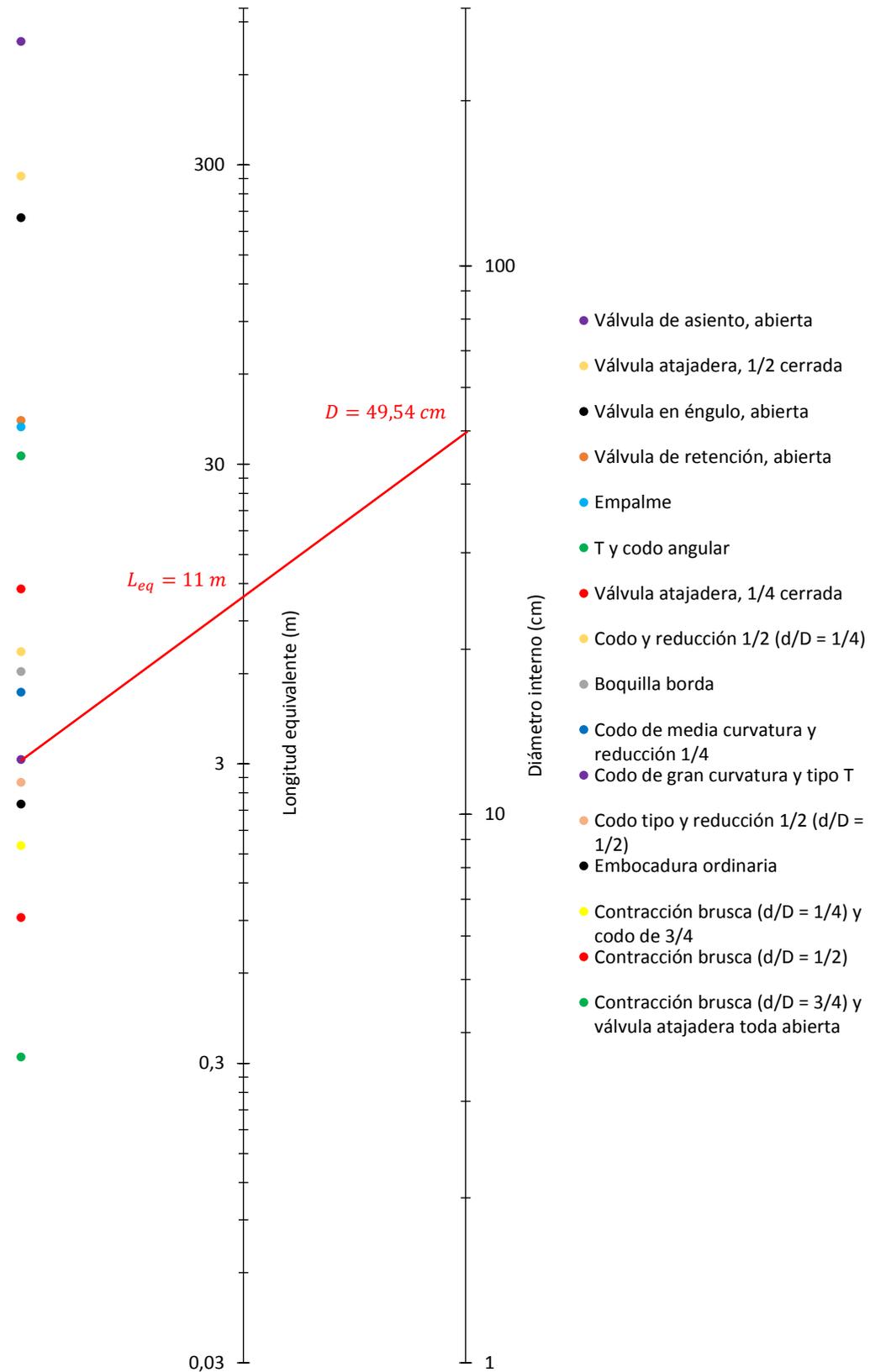


Figura 3.5 Longitud equivalente al frotamiento en válvulas y accesorios

De la *Figura 3.5* se obtiene una longitud equivalente para un codo de gran curvatura de:

$$L_{eq} = 11 \frac{m}{codo}$$

Para dos codos:

$$L_{eq} = 22 m$$

Dado que se ha calculado la longitud en tramo recto equivalente a los codos y que tanto los codos como los tramos rectos poseen el mismo diámetro, se puede aplicar la *Ecuación 90* tomando todos los tramos como rectos, resultando una pérdida de carga de:

$$\Delta P = 8 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{(7,174 + 22)m}{0,4954 m} \right) \cdot \frac{1299,57 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,75^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2}{2} \cdot \left(\frac{4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}{1,541 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s} \right)^{-0,14}$$

Despejando la pérdida de presión:

$$\Delta P = 1.194,8 \frac{N}{m^2}$$

.4.4.2 Pérdidas de presión en la válvula de mariposa

En este apartado se calcula la pérdida de presión en una válvula de mariposa. A partir de la *Tabla 3.11* se obtiene la relación entre el ángulo de apertura de la válvula y la constante característica para el cálculo de la pérdida de presión.[40]

Tabla 3.11 Constante *K* en función del grado de apertura de la válvula de mariposa

θ (°)	<i>K</i>
5	0,24
10	0,52
20	1,54
40	10,8
60	118

Representando los datos de la *Tabla 3.11* se obtiene la *Figura 3.6*.

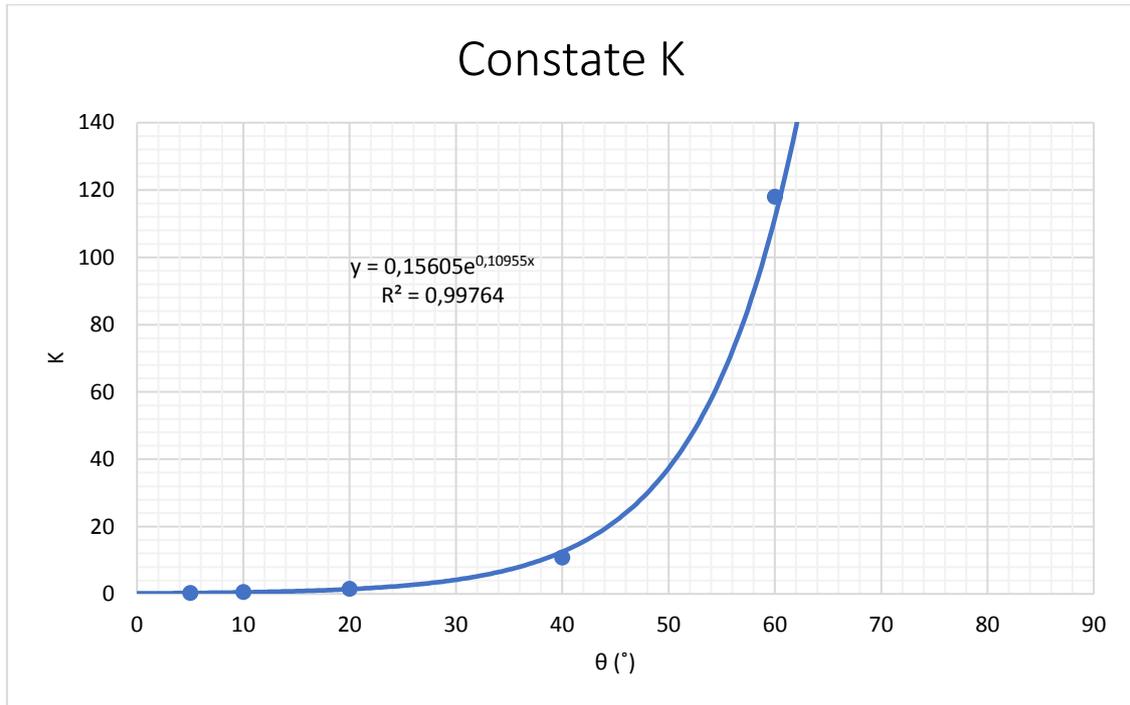


Figura 3.6 Constante K en función del grado de apertura de la válvula de mariposa

De la representación anterior puede obtenerse la *Ecuación 95*:

$$K = 0,15605 \cdot e^{0,10995 \cdot \theta(^{\circ})} \quad (95)$$

Aplicando la *Ecuación 95* para una válvula de mariposa en posición totalmente abierta (0°):

$$K = 0,15605$$

La velocidad circulación a través de la válvula es la misma que por el tramo recto anterior. Calculando la pérdida de presión mediante la *Ecuación 88*:

$$\Delta P = K \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2} \quad (88)$$

Sustituyendo en la *Ecuación 88*

$$\Delta P = 0,15605 \cdot \frac{1299,57 \frac{kg}{m^3} \cdot 1,75^2 \left(\frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

Despejando la pérdida de presión:

$$\Delta P = 310,5 \frac{N}{m^2}$$

3.6.5.6 Pérdidas de presión por la difusión de entrada al reactor

Tras el segundo codo, se encuentra un elemento difusor de entrada al reactor. La difusión se produce desde un diámetro de entrada de 0,4954 m a 1,372 m.

Puede obtenerse la pérdida de carga, en m de altura de líquido, debida a la difusión mediante la fórmula de Gibson (*Ecuación 96*):[41]

$$\Delta h = \lambda \cdot \left(1 - \frac{D_e^2}{D_s^2}\right) \cdot \frac{v_e^2}{2 \cdot g} \quad (96)$$

La *Ecuación 96* consta de los siguientes términos:

- Δh : Pérdida de carga, m.
- λ : Parámetro de Gibson.
- D_e : Diámetro de la conducción de entrada, m.
- D_s : Diámetro de la conducción de salida, m.
- v_e : Velocidad a la entrada, m/s.
- g : Constante de gravitación universal.

El parámetro de Gibson depende del ángulo de conicidad (*Figura 3.7*).

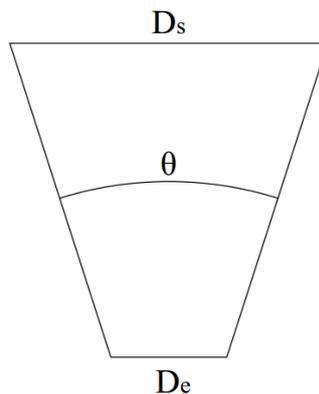


Figura 3.7 Ángulo de conicidad

Gibson demostró que el ángulo de conicidad óptimo es de 6° , y proporciona los siguientes valores empíricos para cualquier otro ángulo (*Tabla 3.12*).

Tabla 3.12 *Parámetro de Gibson en función del ángulo de conicidad*

$\theta(^{\circ})$	λ
6	0,14
10	0,2
15	0,3
20	0,4
30	0,7
40	0,9
50	1
60	1,1

Representando los valores de la *Tabla 3.12* se obtiene la *Figura 3.8*.

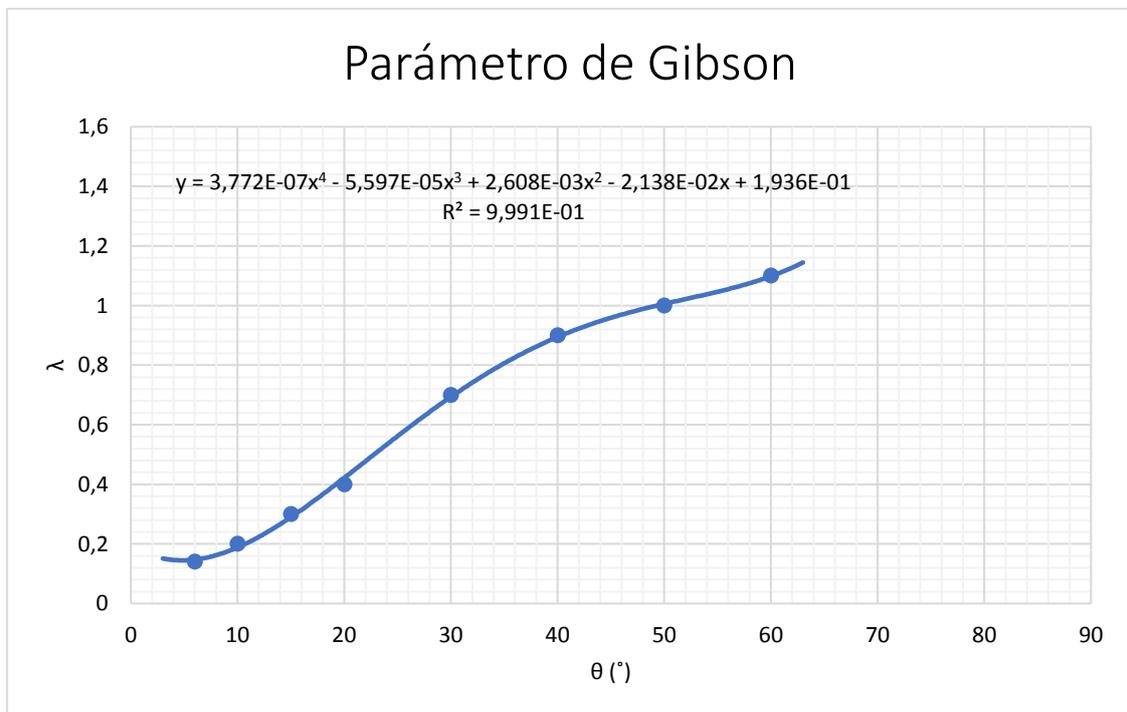


Figura 3.8 *Parámetro de Gibson en función del ángulo de conicidad*

De la representación anterior se obtiene la relación entre el parámetro de Gibson y el ángulo de conicidad del elemento difusor, con una validez aceptable dentro del rango de funcionamiento (*Ecuación 97*).

$$\lambda = 3,772 \cdot 10^{-7} \cdot \theta(^{\circ})^4 - 5,597 \cdot 10^{-5} \cdot \theta(^{\circ})^3 + 2,608 \cdot 10^{-3} \cdot \theta(^{\circ})^2 - 2,2138 \cdot 10^{-2} \cdot \theta(^{\circ}) + 0,1936 \quad (97)$$

El ángulo de conicidad puede obtenerse mediante relaciones trigonométricas cuyo esquema aparece representado en la *Figura 3.9*.

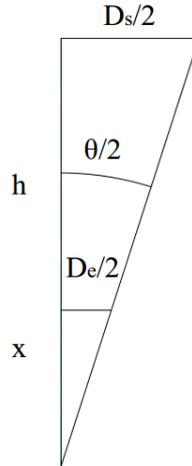


Figura 3.9 Esquema de las relaciones trigonométricas

Aplicando el teorema de Tales para el caso en estudio (*Ecuación 98*):

$$\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) = \frac{D_s/2}{(h+x)} = \frac{D_e/2}{x} \quad (98)$$

Sustituyendo los datos para una altura de 1,370 m:

$$\frac{0,4954/2}{(1,370+x)} = \frac{1,372/2}{x}$$

Despejando la ecuación anterior se obtiene:

$$x = 0,78555$$

Despejando el ángulo de la *Ecuación 99*:

$$\arctan\left(\frac{D_s/2}{(h+x)}\right) = \theta \quad (99)$$

Sustituyendo los datos:

$$\theta = \arctan\left(\frac{0,4954/2}{(1,37+0,78555)}\right)$$

Despejando el ángulo de conicidad:

$$\theta = 35,5^\circ$$

Sustituyendo el ángulo en la *Ecuación 97* se obtiene un parámetro de Gibson de:

$$\lambda = 0,816$$

Sustituyendo todos los valores en la *ecuación 96*:

$$\Delta h = 0,816 \cdot \left(1 - \frac{0,4954^2 m^2}{1,372^2 m^2} \right) \cdot \frac{1,75^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2}{2 \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2}}$$

Despejando la pérdida de carga:

$$\Delta h = 0,11 \text{ m}$$

Calculando la pérdida de carga como el producto de la pérdida de carga por la densidad de la corriente por la constante universal de gravitación:

$$\Delta P = 0,1057 \text{ m} \cdot 9,80665 \frac{m}{s^2} \cdot 1299,57 \frac{kg}{m^3}$$

Despejando la pérdida de presión:

$$\Delta P = 1.407,3 \frac{N}{m^2}$$

3.7.4.7 Pérdidas de presión a la salida de la caldera

A la salida de la caldera hay situada una tobera a modo de estrechamiento paulatino entre la salida de la caldera y la conducción posterior. El diámetro se reduce de 1,372 m a 0,4954 m.

El estrechamiento se produce a lo largo de 0,86 m aproximadamente, por lo que se considera un estrechamiento gradual de la sección (una tobera).

Los valores de la constante característica suelen oscilar entre 0,02 y 0,04, valores próximos a cero, por lo que las pérdidas de carga se consideran despreciables.

3.7.4.8 Pérdidas de presión en el codo y el tramo recto superior

Una vez superada la tobera de salida, el fluido tiene que vencer las pérdidas de carga de la parte superior. Como se trata de una corriente con fracción de gas y de líquido, su densidad será mucho menor, por lo que las pérdidas de carga serán menores.

Se trata de un codo de gran curvatura con un diámetro de tubería de 49,54 cm, idéntico a los dos codos de la parte inferior de la recirculación, por lo que su longitud equivalente es la misma:

$$L_{eq} = 11 \text{ m}$$

El tramo recto antes de entrar al separador es de una longitud de 2,395 m.

Sustituyendo los datos en la *Ecuación 83* todos los datos:

$$\Delta P = 8 \cdot 2,75 \cdot 10^{-3} \cdot \left(\frac{(11 + 2,395)}{0,4954 \text{ m}} \right) \cdot \frac{241,1 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 3,78^2 \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2}{2} \cdot \left(\frac{4,9359 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}}{1,541 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}} \right)^{-0,14}$$

Despejando la caída de presión:

$$\Delta P = 873,3 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

En la *Tabla 3.13* se muestra una recopilación de todas las pérdidas de presión en el sistema.

Tabla 3.13 Recopilatorio de pérdidas de presión

Aceleración		
$\Delta P_a \left(\frac{N}{m^2} \right)$	553,9	Aceleración del fluido del reactor
Caldera		
$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right)$	2.749	Constricción de entrada a los tubos
$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right)$	3.083,6	Paso por los tubos
$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right)$	1.728	Expansión de salida de los tubos
Después de la caldera		
$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right)$	873,3	Codo de salida y tramo recto
Antes de la caldera		
$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right)$	1.194,8	Codos y tramos rectos inferiores
$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right)$	310,5	Válvula de mariposa
$\Delta P \left(\frac{N}{m^2} \right)$	1.407,3	Difusor de entrada

La pérdida de presión total es de:

$$\Delta P' = 11.896 \frac{N}{m^2}$$

A continuación, se compara las pérdidas de carga del sistema con la diferencia de presión disponible (*Ecuación 100*).

$$\Delta P'_{disponible} = \Delta P_{disponible} - \Delta P' \quad (100)$$

La *Ecuación 100* consta de los siguientes términos:

- $\Delta P'_{disponible}$: Diferencia de presión disponible tras restarle las pérdidas de presión, N/m².

- $\Delta P_{disponible}$: diferencia de presión disponible, N/m².
- $\Delta P'$: Pérdidas de presión totales del sistema, N/m².

Sustituyendo en la *Ecuación 100*:

$$\Delta P'_{disponible} = 61.332,2 \frac{N}{m^2} - 11.896 \frac{N}{m^2} = 49.436,2 \frac{N}{m^2}$$

Dado que la presión disponible supera a las pérdidas de presión, el sistema funciona en circulación natural. El sistema es capaz de vencer de forma natural las pérdidas de carga. La válvula de mariposa regula el exceso de presión disponible.

3.8 Coeficientes individuales de transferencia de calor

En este apartado se determinan los coeficientes individuales de transferencia de calor por convección. Se determinan tanto el del lado coraza (exterior de los tubos) como el del lado tubos (interior de los tubos).

El sistema de intercambio de calor es una caldera tipo termosifón vertical donde se produce vapor de agua para la producción de energía eléctrica.

Un depósito a mayor altura que la caldera mantiene constante el líquido en el interior de la carcasa. El depósito no está posicionado a mucha mayor altura que la caldera, por lo que la corriente de salida de la caldera vence las pérdidas de carga debido a la diferencia de densidades.

El interior de la coraza es una piscina llena de líquido. El líquido mantiene mojado la plenitud de la superficie externa de los tubos a excepción de las zonas donde se está produciendo la nucleación de las burbujas de gas. El líquido es agua en estado puro, por lo que no se tiene en cuenta el efecto del ensuciamiento.

Por el interior de los tubos circula una corriente bifásica constituida por vapor de agua que acompaña a la disolución de nitrato amónico. La corriente que circula por el interior de los tubos circula a elevada velocidad por lo que no se tienen en cuenta efectos de ensuciamiento.

3.8.1 Lado Coraza

El agua de la coraza circula en régimen turbulento por lo que la ebullición se da en su mejor estado para favorecer el intercambio de calor, sin formación de película, con nucleación.

El coeficiente individual de transferencia de calor por convección del lado de la coraza es constante a lo largo de la caldera, puesto que se dan las mismas condiciones a todo lo largo de la pared exterior de los tubos.

Para el caso de ebullición por convección natural con nucleación, Mostinski propone la *Ecuación 101*: [42]

$$h_0 = 3,75 \cdot 10^{-5} \cdot P_c^{0,69} \cdot \left(\frac{q}{A}\right)^{0,7} \cdot \left[1,8 \cdot \left(\frac{P}{P_c}\right)^{0,7} + 4 \cdot \left(\frac{P}{P_c}\right)^{1,2} + 10 \cdot \left(\frac{P}{P_c}\right)^{10}\right] \quad (101)$$

La *Ecuación 101* consta de los siguientes términos:

- $\frac{q}{A}$: Densidad de flujo de calor del sistema, W/m².
- P_c : Presión crítica del fluido, N/m².
- P : Presión del sistema, N/m².

La presión de trabajo es de:

$$P = 6,8 \frac{kg}{cm^2} \cdot 98.066,5 \frac{\frac{N}{m^2}}{\frac{kg}{cm^2}} = 6,669 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}$$

Dado que se trata de agua pura, su presión crítica es de:

$$P_c = 219,5 atm \cdot 101.325 \frac{\frac{N}{m^2}}{atm} = 2,224 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}$$

El flujo de calor es el flujo de calor máximo recomendado por Kern:

$$\frac{q}{A} = 37.900 \frac{W}{m^2}$$

Sustituyendo los datos en la *Ecuación 101*:

$$h_0 = 3,75 \cdot 10^{-5} \cdot \left(2,224 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}\right)^{0,69} \cdot \left(37.900 \frac{W}{m^2}\right)^{0,7} \cdot \left[1,8 \cdot \left(\frac{6,669 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}}{2,224 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}}\right)^{0,7} + 4 \cdot \left(\frac{6,669 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}}{2,224 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}}\right)^{1,2} + 10 \cdot \left(\frac{6,669 \cdot 10^5 \frac{N}{m^2}}{2,224 \cdot 10^7 \frac{N}{m^2}}\right)^{10}\right]$$

Por tanto, queda un coeficiente individual de calor para el lado coraza de:

$$h_0 = 7.417 \frac{W}{m^2 K}$$

3.8.2 Lado Tubos

La corriente que circula por el interior de los tubos se mantiene isoterma a 178 °C, pero a lo largo de los tubos, la proporción de vapor de agua en la misma disminuye. La proporción de vapor en los tubos disminuye desde un 1,31 % en peso hasta un 0,64 %.

Para el cálculo del coeficiente individual del lado de los tubos se utilizará la ecuación de Boyko-Kruzhilin para condensación en tubos verticales. Dicha ecuación el coeficiente individual calculado para una circulación natural en estado líquido y posteriormente lo corrige con un factor que tiene en cuenta la presencia de dos fases (líquido y vapor) (*Ecuación 102*):[43]

$$h_i = h'_i \cdot \left[\frac{J_e^{0,5} + J_s^{0,5}}{2} \right] \quad (102)$$

La *Ecuación 102* consta de los siguientes términos:

- h_i : Coeficiente individual de transferencia de calor para flujo bifásico por los tubos, W/m²·k.
- h'_i : Coeficiente individual de transferencia de calor para flujo monofásico por circulación natural, W/m²·k.
- J_e : Factor de corrección a la entrada.
- J_s : Factor de corrección a la salida.

El número de Prandtl se calcula mediante la *Ecuación 103*: [44]

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (103)$$

Por simplicidad de cálculo se asume que la disolución de nitrato amónico que circula por los tubos se mantiene al 76 %, siendo sus propiedades de:

$$\mu = 4,9359 \cdot 10^{-4} \text{ Pa} \cdot \text{s}$$

$$C_p = 2,2589 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Dado que no se dispone de mayor información, la conductividad de la disolución se considera una propiedad aditiva. A continuación, se calculan las conductividades de los tres componentes de la disolución.

El valor de la conductividad del nitrato amónico puro es de:[45]

$$k_{NH_4NO_3} = 0,391 \frac{\text{kcal}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 4.186,8 \frac{\text{J}}{\text{kcal}} \cdot \frac{1}{3.600} \frac{\text{h}}{\text{s}} = 0,455 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Aplicando la *Ecuación 26* para una temperatura de 178 °C, la conductividad del agua líquida tiene un valor de:

$$k_{H_2O} = 0,678 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

La conductividad térmica del ácido nítrico puro a 178 °C, calculada anteriormente, es de:

$$k_{HNO_3} = 0,364 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

Se considerará la conductividad de la disolución como una propiedad aditiva, por lo que su valor dependerá de la fracción másica de las tres especies de la disolución (*Ecuación 104*).

$$k = \frac{k_{NH_4NO_3} \cdot m_{NH_4NO_3} + k_{H_2O} \cdot m_{H_2O} + k_{HNO_3} \cdot m_{HNO_3}}{(m_{NH_4NO_3} + m_{H_2O} + m_{HNO_3})} \quad (104)$$

Sustituyendo en la *Ecuación 104*:

$$k = \frac{0,455 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1.240.441 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 0,678 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 393.612 \frac{\text{kg}}{\text{h}} + 0,364 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \cdot 7.541 \frac{\text{kg}}{\text{h}}}{(1.240.441 + 393.612 + 7.541) \frac{\text{kg}}{\text{h}}}$$

Despejando la conductividad de la disolución:

$$k = 0,508 \frac{W}{m \cdot K}$$

Aplicando la *Ecuación 103*:

$$Pr = \frac{2.258,9 \frac{J}{kg K} \cdot 4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}{0,508 \frac{W}{m \cdot K}} = 1,62$$

En el caso de que la viscosidad del fluido sea superior al doble de la del agua a la misma temperatura, para las condiciones de $10^4 < Re < 10^5$, $0,7 < Pr < 160$, $L/D_i > 60$, se recomienda la ecuación de Chilton-Colburn:[46]

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \quad (105)$$

A continuación, se comprueba la validez de la *Ecuación 105*.

$$1,03 \cdot 10^5 \approx 10^5$$

El régimen de circulación es el correcto.

$$0,7 < 2,2 < 160$$

El rango de valores del número de Prandtl es el correcto.

$$\frac{4,105 m}{55,7 \cdot 10^{-3} m} = 73,7 > 60$$

La relación longitud-diámetro de los tubos es la correcta.

$$\frac{\mu}{\mu_w} = \frac{4,9359 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s}{1,541 \cdot 10^{-4} Pa \cdot s} = 3,2 > 2$$

Para la temperatura de 178 °C el valor de viscosidad de la mezcla es más de tres veces el del agua.

Comprobada la validez se procede al uso de la *Ecuación 105*:

$$Nu = 0,023 \cdot (1,03 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot (2,2)^{1/3}$$

Despejando el valor del número de Nusselt:

$$Nu = 306,3$$

El número de Nusselt está relacionado con el coeficiente individual de transferencia de calor mediante la *Ecuación 106*. [47]

$$Nu = \frac{h'_i \cdot D_i}{k} \quad (106)$$

Sustituyendo en la *Ecuación 106*:

$$306,3 = \frac{h'_i \cdot 55,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}}{0,508 \frac{W}{m \cdot K}}$$

Despejando

$$h'_i = 2.794 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Este coeficiente no es válido para definir el intercambio de calor de la corriente que circula por los tubos, puesto que por los tubos circula una corriente bifásica, donde hay líquido y vapor.

Para adaptar este coeficiente individual de transferencia de calor calculado como una corriente totalmente líquida se utilizan unos factores que introducen propiedades del vapor que acompaña al líquido. (*Ecuaciones 107 y 108*).

$$J_e = 1 + \left[\frac{\rho_{liq,e} - \rho_{vap,e}}{\rho_{vap,e}} \right] \cdot x_e \quad (107)$$

$$J_s = 1 + \left[\frac{\rho_{liq,s} - \rho_{vap,s}}{\rho_{vap,s}} \right] \cdot x_s \quad (108)$$

La *Ecuaciones 107 y 108* tienen los siguientes términos:

- J_s : Factor de corrección a la salida.
- J_e : Factor de corrección a la entrada.
- x_e : Fracción másica de vapor a la entrada.
- x_s : Fracción másica de vapor a la salida.
- $\rho_{liq,s}$: Densidad del líquido a la salida, kg/m³.
- $\rho_{liq,e}$: Densidad del líquido a la entrada, kg/m³.
- $\rho_{vap,s}$: Densidad del vapor a la salida, kg/m³.
- $\rho_{vap,e}$: Densidad del vapor a la entrada, kg/m³.

Para el cálculo de la densidad del vapor se utiliza la *Ecuación 109*:

$$\rho_{vap} = \frac{P \cdot PM_{H_2O}}{R \cdot T} \quad (109)$$

Aplicando la *Ecuación 109* para la entrada y la salida de los tubos:

$$\rho_{vap,e} = \frac{4,765 \frac{kg}{cm^2} \cdot 0,967841 \frac{atm}{kg/cm^2} \cdot 18,01528 \frac{kg}{kmol}}{0,08205746 \frac{atm \cdot m^3}{kmol \cdot K} \cdot (178 + 273,15)K} = 2,24 \frac{kg}{m^3}$$

$$\rho_{vap,s} = \frac{4 \frac{kg}{cm^2} \cdot 0,967841 \frac{atm}{kg/cm^2} \cdot 18,01528 \frac{kg}{kmol}}{0,08205746 \frac{atm \cdot m^3}{kmol \cdot K} \cdot (178 + 273,15)K} = 1,88 \frac{kg}{m^3}$$

Sustituyendo en la *Ecuaciones 107 y 108*:

$$J_e = 1 + \left[\frac{1.302,4 \frac{kg}{m^3} - 2,24 \frac{kg}{m^3}}{2,24 \frac{kg}{m^3}} \right] \cdot 0,0131 = 8,6$$

$$J_s = 1 + \left[\frac{1.299,8 \frac{kg}{m^3} - 1,88 \frac{kg}{m^3}}{1,88 \frac{kg}{m^3}} \right] \cdot 0,00637 = 5,4$$

Sustituyendo los factores de corrección de la entrada y la salida en la *Ecuación 102*:

$$h_i = 2.794 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot \left[\frac{8,6^{0,5} + 5,4^{0,5}}{2} \right]$$

Se obtiene un coeficiente individual de transmisión de calor para el lado de los tubos de:

$$h_i = 7.343 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

3.9 Coeficiente de transferencia de calor global

La ecuación que regula el flujo de calor sigue el principio general de proporcionalidad que indica que la velocidad de transmisión de calor es directamente proporcional a la fuerza motriz o fuerza impulsora e inversamente proporcional a la resistencia. Pudiéndose escribir la ecuación como:

$$q = \frac{\text{Fuerza Impulsora}}{\text{Resistencia}} \quad (110)$$

Existen para el sistema de intercambio de calor varias resistencias a la transmisión del calor: una zona de convección desde el seno del fluido que circula por el interior de los tubos hasta la costra interior del tubo, una zona de conducción a través de la costra interna del tubo, una zona de conducción a través de la pared del tubo, una zona de conducción a través de la costra exterior del tubo y una zona de convección natural hasta el seno del fluido de la coraza (*Ecuación 111*).

$$R = \left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_i + \left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_i + \left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_t + \left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_o + \left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_o \quad (111)$$

La *Ecuación 111* consta de los siguientes términos:

- R : Resistencia global del sistema.
- $\left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_i$: Resistencia asociada a la transmisión de calor por convección en el interior de los tubos, W/k.
- $\left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_o$: Resistencia asociada a la transmisión de calor por convección en el exterior de los tubos, W/k.
- $\left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_i$: Resistencia asociada a la conducción a través de la costra formada por el ensuciamiento interno de los tubos, k/W.
- $\left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_t$: Resistencia asociada a la conducción a través de la pared del tubo, k/W.
- $\left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_o$: Resistencia asociada a la conducción a través de la costra formada por el ensuciamiento externo de los tubos, k/W.

El fluido intercambiador que circula por la coraza es agua pura, por lo que se toma como nulo el espesor de la costra de ensuciamiento exterior de los tubos. El fluido que circula por el interior de los tubos circula a gran velocidad y tiene un carácter ácido, por lo que se toma como nulo el espesor de la capa de ensuciamiento interno de los tubos. Por tanto, la resistencia global final queda de (*Ecuación 112*):

$$R = \left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_i + \left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_t + \left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_o \quad (112)$$

La fuerza impulsora del intercambio de calor es la diferencia de temperaturas. La *Ecuación 110* queda tal que (*Ecuación 113*):

$$q = \frac{\text{FuerzaImpulsora}}{\text{Resistencia}} = \frac{\Delta T}{R} \quad (113)$$

Tomando el sistema global, desde el seno del fluido que circula por los tubos hasta el seno del fluido de la coraza:

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{\left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_i + \left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_t + \left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_o} \quad (114)$$

La transferencia de calor global puede definirse también mediante un coeficiente de calor global. Refiriendo el coeficiente al área externa de los tubos:

$$q = \frac{(T_i - T_o)}{\frac{1}{U_o \cdot A_o}} \quad (115)$$

La resistencia global puede definirse en función del coeficiente global de transmisión mediante la *Ecuación 116*.

$$\frac{1}{U_o \cdot A_o} = \left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_i + \left[\frac{e}{k \cdot A_{ml}} \right]_t + \left[\frac{1}{h \cdot A} \right]_o \quad (116)$$

Desarrollando la *Ecuación 116* y multiplicando por el área externa de los tubos:

$$\frac{1}{U_o} = \frac{1}{h_i} \cdot \frac{A_o}{A_i} + \frac{e_t}{k_t} \cdot \frac{A_o}{A_{ml}} + \frac{1}{h_o} \quad (117)$$

Dado que la longitud de tubo a la que se refieren todas las áreas es la misma, el área solo depende del diámetro (*Ecuación 118*):

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{h_i} \cdot \frac{D_0}{D_i} + \frac{e_t}{k_t} \cdot \frac{D_0}{D_{ml}} + \frac{1}{h_0} \quad (118)$$

La *Ecuación 118* consta de los siguientes términos:

- h_i : Coeficiente individual de transferencia de calor por convección del interior de los tubos, $W/m^2 \cdot k$.
- h_0 : Coeficiente individual de transferencia de calor por convección del exterior de los tubos, $W/m^2 \cdot k$.
- D_0 : Diámetro exterior de los tubos, m.
- D_i : Diámetro interior de los tubos, m.
- D_{ml} : Diámetro medio logarítmico de los tubos, m.
- e_t : Espesor de los tubos, m.
- k_t : Conductividad térmica de la pared de los tubos, $W/m^2 \cdot k$.
- U_0 : Coeficiente global de intercambio de calor referido al área externa, $W/m^2 \cdot k$.

El diámetro medio logarítmico se calcula mediante la *Ecuación 119*:

$$D_{ml} = \frac{D_0 - D_i}{\ln\left(\frac{D_0}{D_i}\right)} \quad (119)$$

Aplicado a los tubos:

$$D_{ml} = \frac{60,3 \text{ mm} - 55,7 \text{ mm}}{\ln\left(\frac{60,3 \text{ mm}}{55,7 \text{ mm}}\right)} = 57,97 \text{ mm}$$

Para el cálculo de la conductividad del acero AISI 304L se utilizará una temperatura media entre el fluido caliente y el fluido frío (*Ecuación 120*):

$$\bar{T} = \frac{T_{fc} + T_{ff}}{2} \quad (120)$$

La *Ecuación 120* consta de los siguientes términos:

- \bar{T} : Temperatura media, K.

- T_{fc} : Temperatura del fluido caliente, K.
- T_{ff} : Temperatura del fluido frío, K.

Sustituyendo en la *Ecuación 120*:

$$\bar{T} = \frac{(178 + 273,15) K + (163 + 273,15) K}{2} = 443,65 K$$

En la *Tabla 3.14* se muestran los valores de conductividad térmica del acero AISI 304L.[48]

Tabla 3.14 Conductividad térmica del acero AISI 304L

$T(K)$	$k\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$
373,15	16
423,15	21

Representando los datos de la *Tabla 3.14* se obtiene la *Figura 3.10*.

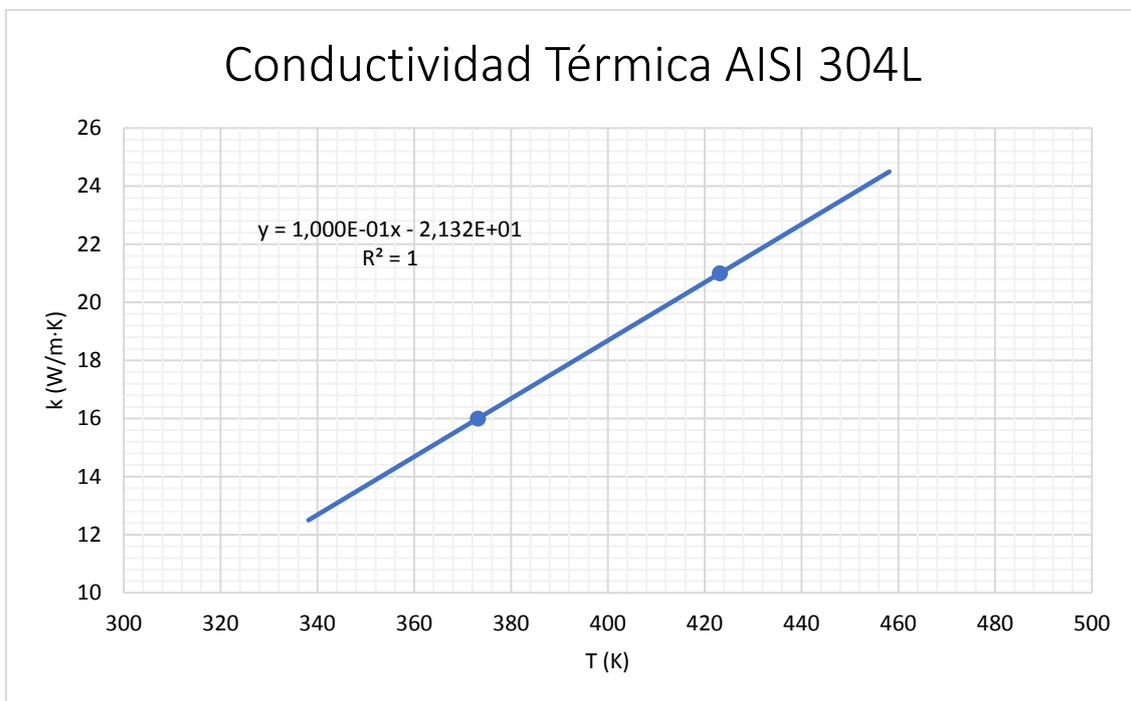


Figura 3.10 Conductividad térmica del acero AISI 304L

A partir de los datos representados en la *Figura 3.10* se obtiene la *Ecuación 121*:

$$k \left(\frac{W}{m \cdot K} \right) = 0,1 \cdot T(K) - 21,32 \quad (121)$$

Aplicada para la temperatura media de 443,65 K:

$$k_t = 23,05 \frac{W}{m \cdot K}$$

Sustituyendo:

$$\frac{1}{U_0} = \frac{1}{7.343 \frac{W}{m^2 \cdot K}} \cdot \frac{60,3 \cdot 10^{-3} m}{55,7 \cdot 10^{-3} m} + \frac{2,3 \cdot 10^{-3} m}{23,05 \frac{W}{m \cdot K}} \cdot \frac{60,3 \cdot 10^{-3} m}{57,97 \cdot 10^{-3} m} + \frac{1}{7.417 \frac{W}{m^2 \cdot K}}$$

Despejando el coeficiente global de intercambio de calor:

$$U_0 = 2.590 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Se obtiene un coeficiente global de intercambio de calor de **2.590 W/m²·K** para la caldera.

Para comprobar que la asunción de la densidad de flujo de calor es válida, se comprueba que el coeficiente global de intercambio de calor es válido. Se calcula el calor transmitido:

$$q = U_0 \cdot A_0 \cdot \Delta T \quad (122)$$

Aplicando la *Ecuación 122*:

$$q = 2.590 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot 159,3 m^2 \cdot (178 - 163) K$$

Despejando:

$$q = 6.188.805 W$$

Calculando la diferencia con el de partida:

$$\% \text{ diferencia} = \frac{(6.188.805 - 6.037 \cdot 10^3) W}{6.188.805 W} \cdot 100 = 2,45 \%$$

Dado que se obtiene una diferencia de aproximadamente el dos y medio por ciento, se toma como válido el diseño de la caldera. A efectos de cálculo, se utiliza el valor de potencia de partida.

4. Anexo 4: Dimensiones de los equipos restantes

4.1 Tambor de vapor

Se busca diseñar a nivel constructivo el tambor separador de líquido y vapor conectado a la caldera, para ello se calcula en primera instancia el volumen de líquido en el interior de la coraza (*Ecuación 123*).

$$V_c = V_c' - V_t \quad (123)$$

La *Ecuación 123* consta de los siguientes términos:

- V_c : Volumen de líquido disponible de la coraza, m^3 .
- V_c' : Volumen total de la coraza, m^3 .
- V_t : Volumen ocupado por los tubos, m^3 .

El volumen total de la caldera se calcula a partir de su diámetro interno:

$$V_c' = \frac{\pi}{4} \cdot D_{i,c} \cdot L = \frac{\pi}{4} \cdot 1,372^2 m^2 \cdot 4,105 m = 6,07 m^3$$

El volumen ocupado por los tubos, se calcula a partir de su diámetro externo y del número de tubos:

$$V_t = N_t \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_i \cdot L = 205 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (60,3 \cdot 10^{-3})^2 m^2 \cdot 4,105 m = 2,40 m^3$$

Por tanto, el volumen disponible en la coraza es de (*Ecuación 123*):

$$V_c = (6,07 - 2,40) m^3 = 3,67 m^3$$

Este valor de volumen disponible en el interior de la coraza se toma como valor de base para el diseño del tambor.

Para un tambor de dos metros de largo por uno y medio de diámetro, el volumen del tambor queda:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot 1,5^2 m^2 \cdot 2 m = 3,53 m^3$$

El tambor se diseña para una presión de trabajo de 10 kg/cm^2 , en caso de fallo de la válvula de entrada o de la de salida. Dado que no se conoce el diámetro externo, se supondrá uno y posteriormente se verificará que se cumpla la asunción. Se asume un diámetro externo de 1.536 mm .

Tabla 4.1 Presión de diseño y diámetro del tambor

$D_0 \text{ (mm)}$	1.536
$P_{m\acute{a}x} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$	10
Factor de Seguridad	1,5
$P_{dise\tilde{n}o} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$	15
$P_{dise\tilde{n}o} \text{ (MPa)}$	1,471

Por seguridad se le aplica un factor de seguridad a la presión máxima de operación.

Aplicando todos los términos a la Ecuación 55:

$$e_{min} = \frac{1,471 \text{ MPa} \cdot 1.536 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 1,471 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo:

$$e_{min} = 15,76 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente.

Sustituyendo todos los términos en la Ecuación 56 queda:

$$e \geq 15,76 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 17,76 \text{ mm}$$

Se selecciona un espesor de pared para el tambor de 18 mm , superior al requerido.

Para ese espesor el diámetro interno queda de:

$$D_i = 1.536 \text{ mm} - 2 \cdot 18 \text{ mm} = 1.500 \text{ mm}$$

Por tanto, la asunción de diámetro externo es válida.

4.1.1 Tuberías finas de salida de la caldera

Se diseñan unas tuberías de salida de la caldera laterales de mayor tamaño que de entrada a la caldera puesto que debido al vapor hay un mayor caudal volumétrico. La salida se produce por dos tuberías situadas simétricamente de forma perpendicular al flujo por la caldera. Como el resto de la sección del vapor, se diseñan para una presión de trabajo de 10 kg/cm² Se escoge un diámetro externo comercial de la *Tabla 3.3* de 406 mm. En la *Tabla 4.2* se muestran los datos de diseño.

Tabla 4.2 Presión de diseño y diámetro de las tuberías finas de salida de la caldera

D_0 (mm)	406
$P_{m\acute{a}x}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	10
Factor de Seguridad	1,5
$P_{dise\tilde{n}o}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	15
$P_{dise\tilde{n}o}$ (MPa)	1,471

Aplicando todos los términos a la *Ecuación 55*:

$$e_{min} = \frac{1,471 \text{ MPa} \cdot 406 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 1,471 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo de la coraza:

$$e_{min} = 4,17 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente para los tubos.

Sustituyendo todos los términos en la *Ecuación 56* queda:

$$e \geq 4,17 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 6,17 \text{ mm}$$

Se seleccionan los tubos normalizados DIN 2458 con espesor de 6,3 mm, superior al necesario, de diámetro externo 406 mm y diámetro interno 393,8 mm.

4.1.2 Tuberías gruesas de salida de la caldera

Las tuberías finas de salida de la caldera, se interconectan entre sí en una T. El diámetro de salida de dicha T debe tener una sección equivalente o próxima al doble de la sección de paso de una tubería fina de salida de la caldera, por lo que se calcula dicho diámetro como base para la selección de una tubería de salida de la T.

Para el cálculo de las secciones de paso de las tuberías se utilizará la *Ecuación 124*:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \quad (124)$$

La *Ecuación 124* consta de los siguientes términos:

- 4 S : Sección de paso de una tubería cilíndrica, m^2 .
- 5 D : Diámetro interno de la tubería, m .

El área de paso de una tubería fina de salida de la caldera es de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (0,3934 \text{ m})^2 = 0,122 \text{ m}^2$$

La tubería gruesa, conexión de ambas finas, debe tener una sección de paso similar al doble de las dos finas:

$$2 \cdot 0,122 \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Despejando el diámetro:

$$D = 0,5574 \text{ m} = 557,4 \text{ mm}$$

De la *Tabla 3.3* se escogen tubos normalizados de diámetro exterior 610 mm. La presión de trabajo es de 10 kg/cm^2 . En la *Tabla 4.3* se muestran los datos de diseño.

Tabla 4.3 Presión de diseño y diámetro de la tubería gruesa de salida de la caldera

D_0 (mm)	610
$P_{m\acute{a}x}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	10
Factor de Seguridad	1,5
$P_{dise\tilde{n}o}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	15
$P_{dise\tilde{n}o}$ (MPa)	1,471

Por seguridad se le aplica un factor de seguridad a la presión máxima de operación.

Aplicando todos los términos a la Ecuación 55:

$$e_{min} = \frac{1,471 \text{ MPa} \cdot 610 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 1,471 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo de la coraza:

$$e_{min} = 6,26 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente para los tubos.

Sustituyendo todos los términos en la Ecuación 56 queda:

$$e \geq 6,26 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 8,26 \text{ mm}$$

Se seleccionan los tubos normalizados DIN 2448 con espesor de 12,5 mm, superior al necesario, de diámetro externo 610 mm y diámetro interno 584,6mm.

4.1.3 Tubería fina de entrada a la caldera

Para el diseño de las tuberías finas de entrada a la caldera se seguirá el mismo procedimiento aplicado para las de salida de la caldera: se diseña el tramo fino de entrada a la caldera y después se diseña una tubería de mayor grosor que se ramifica en las dos tuberías finas. Dichas tuberías finas poseen la misma dirección de entrada a la caldera que las tuberías de salida.

De la *Tabla 3.3* se escogen tubos normalizados de diámetro exterior 219 mm. La presión de trabajo es de 10 kg/cm². En la *Tabla 4.4* se muestran los datos de diseño.

Tabla 4.4 Presión de diseño y diámetro de las tuberías finas de entrada a la caldera

D_0 (mm)	219
$P_{m\acute{a}x}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	10
Factor de Seguridad	1,5
$P_{dise\tilde{n}o}$ ($\frac{kg}{cm^2}$)	15
$P_{dise\tilde{n}o}$ (MPa)	1,471

Aplicando todos los términos a la Ecuación 55:

$$e_{min} = \frac{1,471 \text{ MPa} \cdot 219 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 1,471 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo de la coraza:

$$e_{min} = 2,25 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente. Sustituyendo todos los términos en la Ecuación 56 queda:

$$e \geq 2,25 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 4,25 \text{ mm}$$

Se seleccionan los tubos normalizados DIN 2458 con espesor de 4,5 mm, superior al necesario, de diámetro externo 219 mm y diámetro interno 210,1 mm.

4.1.4 Tubería gruesa de entrada a la caldera

El área de paso de una tubería fina de entrada a la caldera es de:

$$S = \frac{\pi}{4} \cdot (0,2101 \text{ m})^2 = 0,0347 \text{ m}^2$$

La tubería gruesa, conexión de ambas finas, debe tener una sección de paso similar al doble de las dos finas:

$$2 \cdot 0,0347 \text{ m}^2 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Despejando el diámetro:

$$D = 0,2973 \text{ m} = 297,3 \text{ mm}$$

De la *Tabla 3.3* se escogen tubos normalizados de diámetro exterior 324 mm. La presión de trabajo es de 10 kg/cm². En la *Tabla 4.5* se muestran los datos de diseño.

Tabla 4.5 Presión de diseño y diámetro de la tubería gruesa de entrada a la caldera

$D_0 \text{ (mm)}$	324
$P_{m\acute{a}x} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$	10
Factor de Seguridad	1,5
$P_{dise\tilde{n}o} \left(\frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \right)$	15
$P_{dise\tilde{n}o} \text{ (MPa)}$	1,471

Aplicando todos los términos a la Ecuación 55:

$$e_{min} = \frac{1,471 \text{ MPa} \cdot 324 \text{ mm}}{2 \cdot 101,33 \text{ MPa} \cdot 0,7 + 1,471 \text{ MPa}}$$

Despejando el espesor mínimo de la coraza:

$$e_{min} = 3,33 \text{ mm}$$

Se le añadirán los mismos sobre espesores que se estimaron anteriormente. Sustituyendo todos los términos en la Ecuación 56 queda:

$$e \geq 3,33 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 1 \text{ mm} + 0 \text{ mm}$$

Despejando la condición de espesor:

$$e \geq 5,33 \text{ mm}$$

Se seleccionan los tubos normalizados DIN 2458 con espesor de 5,6 mm, superior al necesario, de diámetro externo 324 mm y diámetro interno 312,7 mm.

4.1.5 Otras Tuberías

Para la selección del diámetro de las siguientes conducciones se ha utilizado como método de diseño el caudal de paso a su través:

- **Conducción de entrada de ácido nítrico.** Para un caudal de paso de 56.912 kg/h de disolución de ácido nítrico al 60 % en peso se selecciona una tubería DIN 2458 de DN150, espesor 4 mm, diámetro externo 168 mm y de interno 160,3 mm.
- **Conducción de entrada de amoniaco.** Para un caudal de paso de 9.157 kg/h de amoniaco gaseoso puro se selecciona una tubería DIN 2458 de DN200, espesor 4,5 mm, diámetro externo 219 mm y de interno 210,1 mm.
- **Conducción de entrada de líquido al tambor.** Para un caudal de paso de 10.487 kg/h de agua líquida se selecciona una tubería DIN 2458 de DN50, espesor 2,3 mm, diámetro externo 60,3 mm y de interno 55,7 mm.
- **Conducción de salida de vapor del tambor.** Para un caudal de paso de 10.487 kg/h de vapor de agua se selecciona una tubería DIN 2458 de DN150, espesor 4 mm, diámetro externo 168 mm y de interno 160,3 mm.
- **Conducción de salida de la producción de nitrato amónico.** Para un caudal de paso de 56.634 kg/h de disolución de nitrato amónico al 76 % en peso se selecciona una tubería DIN 2458 de DN100, espesor 3,2 mm, diámetro externo 114 mm y de interno 107,9 mm.
- **Conducción de salida de los vahos del concentrador.** Para un caudal de paso de 11.935 kg/h de vapor de agua se selecciona una tubería DIN 2458 de DN200, espesor 4,5 mm, diámetro externo 219 mm y de interno 210,1 mm.

5. Anexo 5: Ficha de datos de seguridad de las sustancias

Ficha de Datos de Seguridad

De acuerdo con el Reglamento (UE) N° 2015/830 de la Comisión

Fecha de edición 10/10/2017
 Edición 4
 Fecha de revisión 11/06/2019
 Revisión 5

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

SECCIÓN 1		Identificación de la sustancia o de la mezcla y de la sociedad o la empresa
1.1	Identificador del producto	
	Nombre comercial del producto Nombre químico Sinónimos Formula química Número de índice EU CE No CAS No. REACH o Número nacional de registro del producto	ÁCIDO NÍTRICO 12,7 - 13,7 % N, FERTIBERSOL – NIT Ácido nítrico HNO ₃ 007-004-00-1 231-714-2 7697-37-2 01-2119487297-23-0049
1.2	Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados	
	Usos identificados Usos desaconsejados	Sustancia intermedia, formulación y/o dilución de mezclas, distribución, agente regulador de pH, agrícola a través de goteros, tratamiento de superficies metálicas, productos de limpieza, agente auxiliar de proceso en la industria, regeneración de resinas de intercambio iónico, producto químico de laboratorio, grabador de superficies para hormigón. Cualquier uso no indicado en el apartado anterior. La adquisición, posesión o uso por el público en general está restringida.
1.3	Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad	
	Nombre de la compañía Dirección de la compañía Teléfono de la compañía e-mail de la compañía para FDS	FERTIBERIA. S.A.. Paseo de la Castellana, 259 D. Plantas 47 y 48 - 28046 Madrid Central: 91.586.62.00; Fábrica de Avilés: 985.57.78.50; Fábrica de Puertollano: 926.44.93.00; Fábrica de Sagunto: 962.69.90.04 reachfertiberia@fertiberia.es
1.4	Teléfono de emergencia	
		Fábrica de Avilés: 985.57.78.50; Fábrica de Puertollano: 926.44.93.00; Fábrica de Sagunto: 962.69.90.04

Sección 2		Identificación de los peligros			
2.1	Clasificación de la sustancia o de la mezcla*	De acuerdo con el Reglamento CE 1272/2008 [CLP] Met. Corr. 1: H290 Skin Corr. 1A: H314 Acute Tox. 3: H331			
2.2	Elementos de la etiqueta	Pictogramas 	Palabra de advertencia Peligro	Indicaciones de peligro H290 H314 H331 Suplementarias EUH071	Consejos de Prudencia P260 P280 P303+P361+P353 P304+P340 P305+P351+P338 P310
2.3	Otros peligros	El ácido nítrico no cumple con los criterios de sustancia PBT ni mPmB La adquisición, posesión o uso por el público en general está restringida.			

* Para conocer el significado completo de los indicaciones de peligro (H): ver sección 16

Sección 3		Composición/información sobre los componentes					
3.1	Sustancia						
	Nombre	N° CE	N° CAS	%(p/p)	Nombre IUPAC	Clasificación Rgto. 1272/2008	Límites de concentración específicos
	Ácido nítrico%...	231-714-3	7697-37-3	≥57% y <62%	Nítrico ácido	Ox. Liq. 2 Skin Corr. 1A Met. Corr. 1 Acute Tox.3 EUH071	Skin Corr. 1B; H314: 5 % ≤ C < 20 % Skin Corr. 1A; H314 Metal Corr. 1; H290 C ≥ 20 % Ox. Liq. 3; H272: 65 % ≤ C < 99 % Ox. Liq. 2; H272: C ≥ 99 %
3.2	Mezcla	No aplica					

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Sección 4 Primeros auxilios		
4.1	Descripción de los primeros auxilios	
	General	La rapidez es esencial. Proporcionar primeros auxilios y obtener atención médica inmediatamente. Asegúrese que duchas y lavaojos están cerca del puesto de trabajo. Quienes presten los servicios de primeros auxilios deben estar protegidos de forma adecuada (Consulte sección 8)
	Inhalación	Aleje a la persona afectada de la zona contaminada para que pueda tomar aire fresco. Asegúrese de mantenerlo caliente y semiincorporado. Proporcionar respiración artificial si es necesario. La respiración boca a boca puede ser peligrosa.
	Ingestión	NO provoque vómitos. Si la persona está totalmente consciente: Enjuague la boca con agua y dé de beber agua o leche. Trasladar inmediatamente al hospital.
	Contacto con la piel	Retirar inmediatamente la ropa o el calzado contaminados. Empapar con abundante agua (al menos durante 15 minutos). Si aparecen quemaduras, llamar inmediatamente a un médico. Cubrir la herida con una gasa estéril.
	Contacto con los ojos	Enjuague los ojos inmediatamente con abundante agua, separando bien los párpados del ojo (mínimo 15 minutos). No permita que el accidentado se frote los ojos. Consulte inmediatamente con un oftalmólogo, incluso si no se presentan síntomas.
4.2	Principales síntomas y efectos, agudos y retardados	
		Tóxico por inhalación. Altamente corrosivo, provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. Los vapores de ácido nítrico pueden causar irritación inmediata del tracto respiratorio, dolor y disnea, seguida por un periodo de recuperación que puede durar varias semanas. Transcurrido este tiempo, puede producirse una recaída y la muerte debido a una bronconeumonía y/o fibrosis pulmonar.
4.3	Indicación de toda atención médica y tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente	
		Si se produce exposición a los vapores de ácido/NOx (óxidos de nitrógeno), la persona afectada deberá permanecer bajo supervisión médica al menos 48 horas, puede presentarse edema pulmonar transcurridas esas horas.
Sección 5 Medidas de lucha contra incendios		
5.1	Medios de extinción	
	Medios de extinción adecuados	Pulverizar agua en grandes cantidades. Dióxido de carbono (CO2). Utilice medidas de extinción adecuadas para las circunstancias de la zona y el medio ambiente de los alrededores.
	Medios de extinción que no deben usarse	Polvos / extintores químicos/espuma. No trate de apagar el incendio con vapor o arena.
5.2	Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla	
	Peligros especiales	No es combustible. Sin embargo, si se encuentra en el incendio, puede acelerar la combustión de otros materiales combustibles (madera, algodón, paja...), produciéndose el desprendimiento de gases tóxicos (NOx). Cuando entra en contacto con metales normales (acero, aluminio galvanizado), puede producirse corrosión y generar hidrógeno gas, altamente inflamable. Puede explotar en contacto con un agente reductor potente.
	Peligros de la descomposición térmica ó de la combustión del producto	Se pueden producir humos tóxicos de óxidos de nitrógeno.
5.3	Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios	
	Métodos específicos de lucha contra incendios	Enfríe los contenedores/el equipo expuesto al calor con agua pulverizada. Utilice pulverizadores de agua para dispersar los vapores y proteger al personal. Evite tirar al medio ambiente el agua contaminada por el incendio.
	Protección especial en la lucha contra incendios	No trate de extinguir el fuego sin un equipo protector adecuado: - Ropa de protección completa resistente al ácido - Aparato de respiración autónoma
Sección 6 Medidas en caso de vertido accidental		
6.1	Precauciones personales, equipos de protección y procedimientos de emergencia	
		Ponerse el equipo de protección adecuado antes de entrar en el área de peligro. (ver Sección 8). No respire los gases o vapores. Abatir la nube de gas o vapor con un pulverizador de agua o cualquier otra disolución adecuada. Evite cualquier contacto directo con el producto. Evacuar al personal no esencial.
6.2	Precauciones relativas al medio ambiente	
		No permita que el producto se vierta en el medio ambiente. Tomar precauciones para evitar la contaminación de los cursos de agua y drenajes (no verter el producto directamente). Informar a la autoridad correspondiente en caso de contaminación accidental de los cursos de agua. Diluya el producto con agua y neutralice el ácido con, por ejemplo, sosa cáustica o carbonato sódico, antes de descargar el material contaminado en las plantas de tratamiento o las corrientes acuáticas.

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

6.3	Métodos y material de contención y de limpieza	
		<p><u>Recuperación:</u> Detenga el vertido Contenga el producto y dirijalo a un área hermética Bombea el producto hasta un contenedor vacío debidamente etiquetado</p> <p><u>Neutralización:</u> En pequeños derrames, diluir con grandes cantidades de agua. Actúe con mucho cuidado. Contener grandes fugas con arena o tierra si es necesario Neutralice el producto no recuperable con: -cal apagada. -carbonatos o bicarbonatos Limpieza/descontaminación : Limpie con agua las superficies sucias Neutralice la tierra contaminada con cal apagada y, a continuación, enjuáguela. Nunca neutralice el producto mientras se encuentre en envases cerrados o en un envase de emergencia cerrado. Gestión/eliminación del residuo Elimine los residuos contaminados de acuerdo con las normativas vigentes</p>
6.4	Referencia a otras secciones	
		Ver sección 8 para los equipos de protección personal y sección 13 para la eliminación de residuos

Sección 7	Manipulación y almacenamiento	
7.1	Precauciones para una manipulación segura	
		<p>Evitar cualquier contacto directo con el producto. No respirar los vapores. Asegurar buena ventilación en el lugar de trabajo. Utilizar solamente materiales resistentes a los ácidos. Utilizar preferentemente técnicas de bombeo para carga y descarga del producto. Nunca introduzca agua o cualquier agente acuoso en tanques o contenedores que contengan ácido. Las diluciones o neutralizaciones son altamente exotérmicas: evite las salpicaduras y trabaje despacio. Añadir siempre el ácido sobre el agua, nunca al revés. No mezcle con materiales incompatibles (consulte el epígrafe 10.5). No coma, beba ni fume en las zonas de trabajo. Lávese las manos después de cada uso y quítese la ropa contaminada y el equipo de protección antes de entrar en el comedor.</p>
7.2	Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades	
		<p>El suelo debe ser impermeable, resistente al ácido y diseñado para formar un depósito hermético. Corroe el hormigón. Los tanques de almacenamiento deben estar conectados a tierra. Almacenamiento: En zonas frescas y bien ventiladas Manténgalo alejado del calor, de fuentes de ignición, de la luz solar directa y de sustancias incompatibles (consulte el sección 10) Proteja los contenedores de la corrosión y de cualquier daño físico</p>
	Materiales de embalaje recomendados	Los contenedores deberían ser de acero inoxidable y preferiblemente con un contenido bajo en carbono, como 304L (DIN/EN 1.4306) o plástico (p. ej. PVC, PFTE).
	Materiales incompatibles	Metales comunes Acero al carbono o acero cubierto de caucho Polipropileno
7.3	Usos específicos finales	
		Ver epígrafe 1.2 y anexos 1 y 2 para los escenarios de exposición.

Nota : estabilidad y reactividad, ver Sección 10

Sección 8	Controles de exposición/protección individual																																									
8.1	Parámetros de control																																									
	Valores límite de exposición ocupacional	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Componente</th> <th>CAS</th> <th colspan="2"></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ácido nítrico</td> <td>7697-37-2</td> <td colspan="2">VLA-EC (STEL): Exposición a corto plazo: 2,6 mg/m³ y 1 ppm</td> </tr> <tr> <td rowspan="4" style="text-align: center;">Derivado del ISQ</td> <td rowspan="4" style="text-align: center;">DNEL</td> <td style="text-align: center;">oral</td> <td style="text-align: center;">trabajador</td> <td style="text-align: center;">consumidor</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">No aplica</td> <td style="text-align: center;">No aplica</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">inhalatorio</td> <td style="text-align: center;">corto plazo largo plazo</td> <td style="text-align: center;">2,6 mg / m³ 1,3 mg / m³ No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva</td> <td style="text-align: center;">1,3 mg / m³ 0,65 mg / m³ No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">dermal</td> <td></td> <td>Efectos locales: Límites establecidos en anexo VI de CLP: Corrosión cutánea de categoría 1A: ≥ 20% Corrosión cutánea de categoría 1B: 5% ≤C< 20% No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva.</td> <td>Efectos locales: Límites establecidos en anexo VI de CLP: corrosión cutánea de categoría 1A: ≥ 20% corrosión cutánea de categoría 1B: 5% ≤C< 20% No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva.</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">PNEC</td> <td style="text-align: center;">agua</td> <td style="text-align: center;">aire</td> <td style="text-align: center;">suelo</td> <td style="text-align: center;">microbiol-ógica</td> <td style="text-align: center;">sedimento</td> <td style="text-align: center;">oral</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Se propone un rango de pH seguro: 6 - 9 Los estudios demuestran que el pH más que el ión nitrato causa efectos tóxicos en organismos acuáticos (algas, crustáceos y peces).</td> <td>No disponible</td> <td>No aplica (se disuelve y las plantas y los microorganismos usan su fuente de nitrógeno)</td> <td>No aplica (es ácido)</td> <td>No aplica (ávido y se disocia)</td> <td>No aplica (no es bioacumulable, es inorgánico y soluble)</td> </tr> </tbody> </table>	Componente	CAS			Ácido nítrico	7697-37-2	VLA-EC (STEL): Exposición a corto plazo: 2,6 mg/m ³ y 1 ppm		Derivado del ISQ	DNEL	oral	trabajador	consumidor		No aplica	No aplica	inhalatorio	corto plazo largo plazo	2,6 mg / m ³ 1,3 mg / m ³ No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva	1,3 mg / m ³ 0,65 mg / m ³ No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva	dermal		Efectos locales: Límites establecidos en anexo VI de CLP: Corrosión cutánea de categoría 1A: ≥ 20% Corrosión cutánea de categoría 1B: 5% ≤C< 20% No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva.	Efectos locales: Límites establecidos en anexo VI de CLP: corrosión cutánea de categoría 1A: ≥ 20% corrosión cutánea de categoría 1B: 5% ≤C< 20% No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva.		PNEC	agua	aire	suelo	microbiol-ógica	sedimento	oral			Se propone un rango de pH seguro: 6 - 9 Los estudios demuestran que el pH más que el ión nitrato causa efectos tóxicos en organismos acuáticos (algas, crustáceos y peces).	No disponible	No aplica (se disuelve y las plantas y los microorganismos usan su fuente de nitrógeno)	No aplica (es ácido)	No aplica (ávido y se disocia)	No aplica (no es bioacumulable, es inorgánico y soluble)
Componente	CAS																																									
Ácido nítrico	7697-37-2	VLA-EC (STEL): Exposición a corto plazo: 2,6 mg/m ³ y 1 ppm																																								
Derivado del ISQ	DNEL	oral	trabajador	consumidor																																						
			No aplica	No aplica																																						
		inhalatorio	corto plazo largo plazo	2,6 mg / m ³ 1,3 mg / m ³ No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva	1,3 mg / m ³ 0,65 mg / m ³ No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva																																					
		dermal		Efectos locales: Límites establecidos en anexo VI de CLP: Corrosión cutánea de categoría 1A: ≥ 20% Corrosión cutánea de categoría 1B: 5% ≤C< 20% No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva.	Efectos locales: Límites establecidos en anexo VI de CLP: corrosión cutánea de categoría 1A: ≥ 20% corrosión cutánea de categoría 1B: 5% ≤C< 20% No se esperan efectos sistémicos por ser corrosiva.																																					
	PNEC	agua	aire	suelo	microbiol-ógica	sedimento	oral																																			
		Se propone un rango de pH seguro: 6 - 9 Los estudios demuestran que el pH más que el ión nitrato causa efectos tóxicos en organismos acuáticos (algas, crustáceos y peces).	No disponible	No aplica (se disuelve y las plantas y los microorganismos usan su fuente de nitrógeno)	No aplica (es ácido)	No aplica (ávido y se disocia)	No aplica (no es bioacumulable, es inorgánico y soluble)																																			
8.2	Controles de la exposición																																									
	Controles técnicos apropiados	<p>Asegúrese de que el lugar de trabajo está bien ventilado Monitoree la atmósfera a intervalos regulares Utilice sistemas cerrados o contenedores abiertos tapados. Transportar a través de tuberías. Realizar el llenado y vaciado de barriles con sistemas automáticos (bombas de succión, etc.). Utilice ventilación por extracción localizada cuando se necesite. Instalar duchas y lavaojos en los lugares de almacenamiento y manipulación. Instalar sistemas que eviten las proyecciones en los lugares de almacenamiento y manipulación.</p>																																								

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Medidas de protección individual, tales como equipos de protección personal	Ojos y cara	Gafas de seguridad química (EN 166) o pantalla facial
	Piel y cuerpo	Botas resistentes al ácido Prendas resistentes al ácido (EN 14605)
	Manos	Utilice guantes impermeables resistentes a productos químicos, de conformidad con la norma europea EN 374: goma de butilo, PVC, fluor elastómero PTFE.
	Respiratoria	Utilizar equipos de respiración adecuados si el nivel de exposición supera o puede superar el valor DNEL. Para periodos de exposición cortos se recomiendan máscaras: EN149 de tipo FF P3, EN 14387 de tipo B o tipo E modelo P3, EN 1827 de clase FMP3 (lista no exhaustiva). Para periodos de exposición largos se recomiendan máscaras completas o máscaras con un aparato de suministro de aire fresco: máscaras completas EN 143, EN 14387, EN 12083 de clase P3 o clase XP3, EN12941 de clase TH3, EN 12942 TM3, EN14593 o EN138 (Lista no exhaustiva).
	Peligros Térmicos	La sustancia no representa un peligro térmico, por lo tanto no se requieren consideraciones especiales.
Controles de exposición medioambiental		<u>Uso del ácido nítrico por industriales y profesionales:</u> Si los vertidos pueden causar cambios significativos en el pH, no vierta las disoluciones de ácido nítrico de forma incontrolada en las aguas residuales o superficiales. Se requiere un control regular de los valores de pH cuando se introduzca en aguas abiertas. Por lo general, las descargas se deben realizar de modo que se minimice el cambio de pH en las aguas superficiales a las que llegue el vertido. Ver sección 6
<i>Elegir las protecciones personales adaptadas a los riesgos de la exposición.</i>		

Sección 9 Propiedades físicas y químicas

9.1	Información sobre propiedades físicas y químicas básicas	
	Aspecto	líquido
	Color	Líquido de incoloro a amarillo
	Olor	Olor acre, ácido
	Umbral olfativo	0,70 mg/m3 (0,29 ppm)
	Peso molecular	63,01 g/mol
	pH	< 1 (no diluido)
	Punto <u>inicial</u> de ebullición e <u>intervalo de ebullición</u>	103,4°C (ácido nítrico en un 20%); 120,4 °C (ácido nítrico en un 60%).
	Punto de fusión/<u>punto de congelación</u>	- 17 °C (ácido nítrico en un 20%); -22 °C (ácido nítrico en un 60%).
	Punto de inflamación	no aplicable
	Tasa de evaporación	No disponible
	Inflamabilidad (<u>sólido, gas</u>)	no inflamable
	Propiedades explosivas	no explosivo
	Temperatura de autoinflamación	no aplicable
	Temperatura de descomposición	83°C ácido 100% NO3H
	Límite inferior de <u>inflamabilidad o de explosividad</u>	no aplicable
	Límite superior de <u>inflamabilidad o de explosividad</u>	no aplicable
	Propiedades comburentes	No comburente. (Ahora bien, el ácido de concentración ≥65% es comburente)
	Densidad relativa	A 20°C: 1,1150 (ácido nítrico en un 20%); 1,3667 (ácido nítrico en un 60%).
	Presión de vapor a 20°C	0,77 Kpa a 20 °C (ácido nítrico en un 60%).
	Densidad del vapor	2 con respecto al aire.
	Coefficiente de reparto n-octanol/agua	no aplicable (sustancia inorgánica)
	Solubilidad	a 20°C: 500 g/l (ácido nítrico 100%)
	Viscosidad	0,70 mPa s a 25 °C (no diluido)
9.2	Otros datos	
	Miscibilidad	Miscible con agua en cualquier proporción

Sección 10 Estabilidad y reactividad

10.1	Reactividad	El producto es estable bajo condiciones recomendadas de manipulación y almacenamiento (ver sección 7)
10.2	Estabilidad química	Térmicamente estable en términos reactivos en condiciones de almacenamiento de diseño. Se descompone ligeramente en óxidos de nitrógeno cuando entra en contacto con la luz o la materia orgánica.
10.3	Posibilidad de reacciones peligrosas	Puede reaccionar violentamente con agentes reductores, bases fuertes, material orgánico, cloruros y metales finamente divididos. Reacción exotérmica con agua.
10.4	Condiciones que deben evitarse	Alta temperatura, luz, confinamiento.
10.5	Materiales incompatibles	- materiales comburentes - materia orgánica - materiales reductores - álcalis y productos cáusticos - polvos metálicos - sulfuro de hidrógeno -cloratos -carburos -metales no nobles -alcoholes - líquidos inflamables - ácido crómico
10.6	Productos de descomposición peligrosos	Cuando se calienta el ácido nítrico, se pueden producir óxidos de nitrógeno (NOx)

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Sección 11 Información toxicológica						
11.1 Información sobre los efectos toxicológicos						
Toxicidad aguda						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	OCDE 403	Rata	Inhalatoria	LC50: > 2650 mg/m ³ . Tóxico por inhalación de categoría 3. Corrosivo para las vías respiratorias. Información no disponible	
		-	-	Oral	Información no disponible	
		-	-	Cutánea	Información no disponible	
Corrosión o irritación cutánea						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	No hay estudio, pero no se considera pertinente hacerlo porque se conoce la corrosividad de la sustancia		Cutánea	Corrosivo para la piel y ojos. Para el nítrico diluido: anexo VI de CLP establece límites específicos de clasificación: Skin Corr. 1A; H314: Ácido nítrico ≥ 20 % Skin Corr. 1B; H314: 5 % ≤ Ácido nítrico < 20 %	
Lesiones oculares graves o irritación ocular						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	No hay estudio, pero no se considera pertinente hacerlo porque se conoce la corrosividad de la sustancia		Ocular	Corrosivo para la piel y ojos. Ácido nítrico del 100%. Para el nítrico diluido: anexo VI de CLP establece límites específicos de clasificación: Skin Corr. 1A; H314: Ácido nítrico ≥ 20 % Skin Corr. 1B; H314: 5 % ≤ Ácido nítrico < 20 %	
Sensibilización respiratoria o cutánea						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	No necesario porque la sustancia es un ácido fuerte (pH <2)		Cutánea	Sustancia corrosiva no es relevante hacer su estudio. Ácido nítrico sin diluir y diluido (20-65%) el pH es ácido fuerte	
Mutagenicidad en células germinales						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	Similar a OCDE 471 OCDE 473 OCDE 476 Test in vivo: Aberraciones cromosómicas y micronúcleos en las células médula ósea	In vitro: bacteria, Células de mamífero In vivo: células de rata y el ratón de médula ósea	in vitro: bacteria, células de mamífero in vivo: células de médula ósea	A partir de los resultados negativos obtenidos del ácido nítrico (OCDE 471), nitrato sódico (OCDE 471, 473+ test in vivo) y nitrato potásico (OCDE 471, 473 y 476), y debido a sus parecidos estructurales con el ácido nítrico, se puede concluir que no se espera que el ácido nítrico cause toxicidad genética.	
Carcinogenicidad						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	No sigue guía oficiales	Rata	Inhalatoria	Datos no concluyentes	
Toxicidad para la reproducción						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	OECD 422	rata	Oral: por sonda	NOAEL: 1500 mg/Kg peso corporal/día No se observaron efectos adversos ni para la reproducción/ni para el desarrollo. La extrapolación con nitratos se ha usado para el estudio del ácido nítrico por su similitud estructural. A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación	
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única y repetida						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	-	rata	Oral	NOAEL: 1500 mg/Kg peso corporal/día. Datos no concluyentes	
				Inhalación	NOAEC: 4.11 mg/m ³ . Datos no concluyentes	
Peligro por aspiración						
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado	
Ácido nítrico	7697-37-2	-	-	-	Ver nota a continuación	
La principal vía de exposición al ácido nítrico es la inhalación. Si se inhalan, los gases del ácido nítrico pueden causar irritación inmediata del tracto respiratorio, dolor y disnea, seguidas por un periodo de recuperación que puede durar varias semanas. Transcurrido este tiempo, puede producirse una recaída y la muerte debido a una bronconeumonía y/o fibrosis pulmonar. Al contacto con la piel, el ácido nítrico provoca quemaduras en piel y ojos. Si se ingiere, el ácido nítrico provoca quemaduras en el tracto digestivo						

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Sección 12 Información ecológica					
12.1 Toxicidad					
Toxicidad acuática					
Componente	Nº CAS		Peces	Crustáceos	Algas
Ácido nítrico	7697-37-2	Corto plazo	pH letal medio (96 h): 3-3,5: Lepomis macrochirus (no sigue una guía oficial). pH letal medio (96 h) - 3,7: Oncorhynchus mykiss (no sigue una guía oficial). Los estudios disponibles muestran que es el pH y no el ión nitrato el responsable de los efectos tóxicos en los peces. Esto está confirmado con por un estudio adicional con nitrato sódico: LC50(96h)=8226 mg/l para trucha arco iris.	pH letal medio (48 h): 4,6: Ceriodaphnia dubia A la vista de los datos disponibles, no se cumplen los criterios de clasificación.	Información no disponible
		Largo plazo	Información no disponible	Información no disponible	Información no disponible
Toxicidad Terrestre					
Componente	Nº CAS	Macroorganismos	Microorganismos	Otros organismos	
Ácido nítrico	7697-37-2	Estimada irrelevante	Información no disponible	No aplica	
Actividad microbiológica en plantas de tratamiento de aguas residuales					
Componente	Nº CAS	Toxicidad a microorganismos acuáticos			
Ácido nítrico	7697-37-2	Dado el control de pH que se realiza en las plantas de tratamiento de agua, no resulta relevante.			
12.2 Persistencia y degradabilidad					
Componente	Nº CAS	Hidrólisis	Fotólisis	Biodegradación	
Ácido nítrico	7697-37-2	No es relevante para sustancias inorgánicas.			
12.3 Potencial de bioacumulación					
Componente	Nº CAS	Coefficiente de reparto octanol-agua (Kow)	Factor de bioconcentración (BCF)	Observaciones	
Ácido nítrico	7697-37-2	No es relevante para las sustancias inorgánicas			
12.4 Movilidad en el suelo					
Componente	Nº CAS	Resultado			
Ácido nítrico	7697-37-2	Información no disponible			
12.5 Resultados de la valoración PBT y mPmB					
No aplicable para sustancias inorgánicas					
12.6 Otros efectos adversos					
El peligro del ácido nítrico está causado principalmente por el incremento de concentración de iones H ⁺ (pH) liberado en la disociación. El aumento de las concentraciones de nitratos tienen efectos leves.					
Sección 13 Consideraciones relativas a la eliminación					
13.1 Métodos para el tratamiento de residuos					
<p><u>Los residuos NO deberían eliminarse a través de las redes de alcantarillado.</u></p> <p>Neutralizar con cuidado con cal o carbonatos. Eliminar de acuerdo con las normativas locales. El embalaje utilizado es exclusivo para contener este producto. Después del uso, vaciarlo por completo y depositarlo en un lugar autorizado.</p>					

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Sección 14 Información relativa al transporte					
	Información Reglamentaria	ADR/RID	ADNR	IMDG	IATA
14.1	Número ONU	UN 2031			
14.2	Designación oficial de transporte de las Naciones Unidas	ÁCIDO NÍTRICO, excepto el ácido nítrico fumante rojo con menos del 65% de ácido nítrico			
14.3	Clase(s) de peligro para el transporte	8			
14.4	Grupo de embalaje	II			
14.5	Peligros para el medio ambiente	NO			
14.6	Precauciones particulares para los usuarios	Número de Identificación de Peligro 80 Código para túneles (E) Ver ADR/RID	Ver ADN	Ver IMDG procedimientos de emergencia (FEM). F-A, S-B	Ver regulación OACI para limitación de cantidades
	Etiqueta				
14.7	Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC: "Ácido Nítrico (menos de un 70%); TIPO DE BARCO: 2; CATEGORÍA DE CONTAMINACIÓN: Y."				

Sección 15 Información reglamentaria	
15.1	Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla
	<p>Reglamento (UE) Nº 98/2013: sobre la comercialización y la utilización de precursores de explosivos. La adquisición, posesión o uso por el público en general está restringida.</p> <p>Reglamento 2003/2003 (fertilizantes) Reglamento 1907/2006 (REACH) Reglamento 1272/2008 (CLP) Directiva 18/2012 (Directiva Seveso) R.D. 840/2015 (Seveso) Real Decreto 656/2017 (Almacenamiento de Productos Químicos) ITC-MIE-APQ 006, 007 y 010 R.D. 374/2001 (Agentes químicos) R.D. 506/2013 (fertilizantes) R.D. 261/96 relativa a la protección de aguas contra nitratos (Directiva 91/676/CEE) Ley 22/2011, de residuos y suelos contaminados</p>
15.2	Evaluación de la seguridad química
	Evaluación de la Seguridad Química llevada a cabo para el Ácido nítrico

Sección 16 Otra información	
Indicaciones de peligro	H290: Puede ser corrosivo para los metales. H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. H331: Tóxico por inhalación EUH071: Corrosivo para las vías respiratorias.
Consejos de prudencia	P102 -Mantener fuera del alcance de los niños. P234 - Conservar únicamente en el embalaje original. P260 -No respirar los vapores. P264 -Lavarse las manos concienzudamente tras la manipulación. P271 -Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado. P280 -Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P301+P330+P331 -EN CASO DE INGESTIÓN: enjuagarse la boca. NO provocar el vómito. P303+P361+P353 - EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitar inmediatamente toda la ropa contaminada. Enjuagar la piel con agua [o ducharse]. P304+P340 -EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. P305+P351+P338 - EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado. P310 -Llamar inmediatamente a un CENTRO de información toxicológica o a un médico. P363 -Lavar las prendas contaminadas antes de volverlas a utilizar. P390 -Absorber el vertido para que no dañe otros materiales. P403+P233 - Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente herméticamente cerrado. P405 -Guardar bajo llave. P406 -Almacenar en un recipiente resistente a la corrosión (AISI 304L). P501 -Eliminar el contenido/el recipiente por gestor autorizado.
Referencias bibliográficas y fuentes de datos	Evaluación sobre la seguridad química del Ácido nítrico Reglamento (UE) 2015/830 Reglamento (CE) 1907/2006 Reglamento (EU) 1272/2008
Abreviaturas y acrónimos	VLA-ED: Valor límite ambiental (exposición diaria) VLA-EC: Valor límite ambiental (corta duración) NOAEL: Dosis sin efectos adversos observados DL50: Dosis letal 50% CL50: Concentración letal 50% DNEL: Concentración sin efecto derivado PNEC: Concentración prevista sin efectos LOEC: Concentración más baja de efectos observados NOEC: Concentración de efectos no observados NOAEC: Concentración de efectos adversos no observados
Formación adecuada para los trabajadores	Formación obligatoria en materia de prevención de riesgos laborales
Fecha de la anterior FDS	Versión 4 de fecha 10/10/2017
Modificaciones introducidas en la revisión actual	Ver los textos con negrita+cursiva +subrayado

Se adjuntan como anexos, los escenarios de exposición.

La información contenida en esta Ficha de Datos de Seguridad se da de buena fe y creyendo en su exactitud, en base al conocimiento que se dispone sobre el producto en el momento de su publicación. No implica la aceptación de ningún compromiso ni responsabilidad legal por parte de la Compañía por las consecuencias de su utilización o su mala utilización en cualesquiera circunstancias particulares.

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 1

1	Título del Escenario de Exposición (ES)
	Fabricación Fabricación del ácido nítrico de concentración inferior al 70%: (Síntesis continua y batch), incluyendo manejo, almacenamiento y control de calidad.
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición
	Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 1 PROC 1/2/3/4/8a/8b/9/15 ERC 1
	Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)
	1. Fabricación de sustancias (ERC 1)
	Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC)
	1. Uso en procesos cerrados, exposición improbable (PROC 1) 2. Utilización en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada (PROC 2) 3. Uso en procesos por lotes cerrados (síntesis o formulación) (PROC 3) 4. Utilización en procesos por lotes y de otro tipo (síntesis) en los que se puede producir la exposición (PROC 4) 5. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC 8a) 6. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC 8b) 7. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC 9) 8. Uso como reactivo de laboratorio (PROC 15)
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente a la fabricación del ácido nítrico de concentración inferior al 70% (ES1)
	La evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo no son necesarias. No se considera necesaria la realización de la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo para el medio ambiente. El destino ambiental del ácido nítrico es bien conocido: el ácido nítrico se disociará progresivamente a medida que cambie el pH. $\text{HNO}_3 = \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ (pKa = -1,4) El pH natural puede variar significativamente entre los diferentes ecosistemas acuáticos, que a su vez pueden variar. El cambio de pH debido a la adición antrópica de ácido nítrico está influenciado por la capacidad tampón del agua receptora. El ácido puede afectar el nivel de pH del agua, lo que implica los efectos tóxicos observados para los organismos acuáticos. Los organismos pueden adaptarse a condiciones específicas: basados en las directrices de la OCDE para los ensayos de toxicidad los grupos taxonómicos, es decir, las algas, los crustáceos (daphnids) y los peces, un rango de pH de 6-9 se comunica que está bien tolerado por una variedad de organismos acuáticos. Por lo tanto, el efecto principal para los organismos / ecosistemas se debe a posibles cambios de pH relacionados con la descarga de ácido nítrico. Como consecuencia directa, sólo se abordará la escala local, ya que se espera que cualquier efecto pueda ser neutralizado a escala regional y continental. Debido a la muy alta solubilidad en agua, el ácido nítrico se encontrará predominantemente en agua. Exposición en el agua se evalúan, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales (STP) o las plantas de tratamiento de aguas aplicable. No se esperan emisiones significativas o exposición al aire, ya que el ácido nítrico reacciona rápidamente convirtiéndose en NOx. No se espera tampoco exposición o emisiones significativas contaminantes al medio ambiente terrestre. La ruta de aplicación de emisión de lodos a los suelos agrícolas no es relevante, ya que la sorción del ácido nítrico no ocurrirá en las STPs / EDAR. Este enfoque es similar al enfoque documentado en el RAR de la UE sobre NaOH (2007). La evaluación del riesgo para el medio ambiente sólo es relevante para el medio acuático, cuando sea aplicable, incluyendo STP / EDAR, como emisiones de NaOH en las diferentes etapas del ciclo de vida (producción y uso) se aplican principalmente a (residuos) de agua. El efecto acuático y la evaluación del riesgo sólo se trató sobre los organismos / ecosistemas debido a posibles cambios de pH relacionados con las descargas de OH, ya que se espera que la toxicidad del ion Na + sea insignificante en comparación con el efecto (potencial) del pH. Por otra parte, en lo que se refiere al uso de fertilizantes, es posible sacar las siguientes conclusiones sobre exposición: cuando el ácido nítrico se utiliza en los fertilizantes, el ácido nítrico se somete a mezcla inmediata con las otras sales de NPK (componentes principales de los fertilizantes). Como consecuencia, sólo se pueden encontrar residuos de ácido nítrico en el fertilizante y no es necesaria una evaluación cuantitativa.
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente a la fabricación del ácido nítrico de concentración inferior al 70%
	La sección 2.2 describe la exposición potencial de los trabajadores debida a la fabricación del ácido nítrico de concentración inferior al 70% . Todos los procesos relevantes para los distintos escenarios contributivos identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 1/2/3/4/8a/8b/9/15) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2). Las vías de exposición consideradas relevantes para los trabajadores durante este uso son la inhalatoria, la dérmica y la ocular. La vía oral no es posible que suceda. La cuatificación del riesgo llevada a cabo para todas ellas ha sido la cualitativa y la conclusión es la siguiente: "Teniendo en cuenta las condiciones operativas y las medidas de gestión de riesgos (cuando existe la posibilidad de exposición), se considera que se controla el riesgo de causar efectos. La exposición potencial a la sustancia se mantiene al mínimo."
	Características del producto
	Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.
	Cantidades utilizadas
	No relevante
	Frecuencia y duración del uso o exposición
	La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.
	Medidas y condiciones organizativas y técnicas
	<ul style="list-style-type: none"> • Contención: Bajo condiciones de operación estándar, la sustancia está rigurosamente contenida por medios técnicos en el área de trabajo. Las actividades se llevan a cabo de manera estandarizada, bajo condiciones controladas en equipo especializados. En caso de que una determinada cantidad de sustancia no esté contenida, el trabajador no está expuesto a la sustancia ya que, se lleva a cabo en una campana extractora o cuando el trabajador lleva equipo de protección personal y utiliza ventilación de escape local. Se evita la formación de aerosoles / neblinas / salpicaduras. • Medidas organizativas: Minimizar el número de empleados en el área de trabajo. Minimizar las actividades manuales. Capacitar a los empleados en el manejo seguro de la sustancia, incl. cómo usar el equipo de protección personal. Limpie regularmente el área de trabajo. Tener una supervisión para comprobar periódicamente que las condiciones de uso son seguidas por los trabajadores. Asegúrese de que todo el equipo esté bien mantenido. Asegurar que la protección personal equipo está disponible y se utiliza de acuerdo con las instrucciones. Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad están disponibles en el área de trabajo. • Material adecuado: El material recomendado para tanques, recipientes y accesorios es de acero inoxidable austenítico con bajo contenido en carbono. • Materiales inadecuados: No utilice ningún metal, acero al carbono o polipropileno • Condiciones de ventilación en el área de trabajo: Úselo solo al aire libre o en un área bien ventilada (aproximadamente 5 cambios de aire por hora) • Ventilación de extracción local: Utilice ventilación de extracción local cuando el vapor / niebla / aerosol de ácido nítrico podría estar presente en el aire dentro de la zona de respiración de un trabajador. • Condiciones de almacenamiento: Almacenar en un lugar bien ventilado (preferiblemente en el exterior). En un área equipada con suelo resistente al ácido. Proteger de la luz solar. Mantenga los envases bien cerrados. Mantener alejado de combustible materiales, calor, superficies calientes, chispas, llamas abiertas y otras fuentes de ignición. • Monitoreo de gas: Utilice monitores de NOx estacionarios y / o portátiles en el lugar de trabajo, monitoreando los NOx normales niveles muy por debajo de 2,6 mg / m3

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud

- General: Trabajar bajo un alto nivel de higiene personal. Lavarse las manos y la cara antes de los descansos. No coma, beba ni fume en el área de trabajo.
- Protección respiratoria: En caso de que exista un riesgo de exposición por inhalación a la sustancia, siempre use una máscara de superficie completa con un cartucho de gas ácido o use un respirador / casco / traje de aire suministrado. La exposición potencial a la sustancia por inhalación debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña inhalada puede tener efectos (agudos y / o retardados) en el tracto respiratorio.
- Dermal y protección de los ojos: En caso de riesgo de exposición dérmica (a través de equipo contaminado), use siempre ropa protectora resistente a los ácidos adecuada en el área de trabajo y use guantes resistentes a los ácidos según EN374 (y gafas protectoras / conforme a la norma EN166). La exposición a la sustancia debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña de una solución acuosa de la sustancia ya puede causar quemaduras graves y / o daño ocular.
- Cuando se puedan formar aerosoles / nieblas de ácido nítrico, use un traje de protección química resistente al ácido adecuado con un respirador / casco / traje de aire suministrado.
- Material adecuado: caucho butílico / fluorado.

3

Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH. Medidas no sujetas al art. 37 (4) REACH

- Utilizar sistemas cerrados o automatizados o cerrar los contenedores abiertos (con paneles, etc.) para evitar vapores, pulverizados y posibles salpicaduras irritantes.
- Transportar a través de tuberías, llenado y vaciado de barriles técnicos con sistemas automáticos (bombas de succión, etc.)
- Usar alicates, brazos de agarre con grandes asideros de uso manual "para evitar el contacto directo y la exposición por salpicaduras (no manipular productos cerca de uno mismo)
- Almacene en zonas frescas, limpias y bien ventiladas, lejos de productos alcalinos y metales. No almacene bajo la luz del sol directa. No apile los contenedores.
- No almacene a temperaturas cercanas al punto de congelación.
- No se necesita una ventilación local o general, pero forma parte de unas buenas prácticas.

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 2

1	Título del Escenario de Exposición (ES)
	Formulación y reenvasado. Formulación de mezclas usando ácido nítrico en concentración inferior al 70%.
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición
	Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 2
	PC12, PC14, PC15, PC35 * PROC 1/2/3/4/5/8a/8b/9/15 ERC 2
	Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)
	1. Formulación en mezcla (ERC 2)
	Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC)
	1. Producción de productos químicos o refinería en procesos cerrados en los que no hay probabilidades de exposición o procesos en condiciones de contención equivalentes (PROC 1) 2. Producción de productos químicos o refinería en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada o procesos cuyas condiciones de contención son equivalentes. (PROC 2) 3. Fabricación o formulación en la industria química en procesos por lotes cerrados con exposición ocasional controlada o procesos cuyas condiciones de contención son equivalentes. (PROC 3) 4. Producción de productos químicos en los que se puede producir la exposición. (PROC 4) 5. Mezclado en procesos por lotes. (PROC 5) 6. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC8a) 7. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC8b) 8. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC9) 9. Uso como reactivo de laboratorio (PROC15)
	*Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: PC 12 (Fertilizantes) / PC 14 (Productos de tratamiento de las superficies metálicas, incluidos los productos de galvanizado y electrólisis) / PC 15 (Productos de tratamiento de superficies no metálicas) / PC 35 (Productos de lavado y limpieza (incluidos los productos que contienen disolventes))
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente a la formulación y reenvasado del ácido nítrico de concentración inferior al 70% (ES1)
	<p>La evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo no son necesarias.</p> <p>No se considera necesaria la realización de la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo para el medio ambiente.</p> <p>El destino ambiental del ácido nítrico es bien conocido: el ácido nítrico se disociará progresivamente a medida que cambie el pH. $\text{HNO}_3 = \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ (pKa = -1,4)</p> <p>El pH natural puede variar significativamente entre los diferentes ecosistemas acuáticos, que a su vez pueden variar. El cambio de pH debido a la adición antrópica de ácido nítrico está influenciado por la capacidad tampón del agua receptora. El ácido puede afectar el nivel de pH del agua, lo que implica los efectos tóxicos observados para los organismos acuáticos.</p> <p>Los organismos pueden adaptarse a condiciones específicas: basados en las directrices de la OCDE para los ensayos de toxicidad los grupos taxonómicos, es decir, las algas, los crustáceos (daphnids) y los peces, un rango de pH de 6-9 se comunica que está bien tolerado por una variedad de organismos acuáticos.</p> <p>Por lo tanto, el efecto principal para los organismos / ecosistemas se debe a posibles cambios de pH relacionados con la descarga de ácido nítrico.</p> <p>Como consecuencia directa, sólo se abordará la escala local, ya que se espera que cualquier efecto pueda ser neutralizado a escala regional y continental.</p> <p>Debido a la muy alta solubilidad en agua, el ácido nítrico se encontrará predominantemente en agua. Exposición en el agua se evalúan, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales (STP) o las plantas de tratamiento de aguas aplicables.</p> <p>No se esperan emisiones significativas o exposición al aire, ya que el ácido nítrico reacciona rápidamente convirtiéndose en NOx. No se espera tampoco exposición o emisiones significativas contaminantes al medio ambiente terrestre. La ruta de aplicación de emisión de lodos a los suelos agrícolas no es relevante, ya que la sorción del ácido nítrico no ocurrirá en las STPs / EDAR.</p> <p>Este enfoque es similar al enfoque documentado en el RAR de la UE sobre NaOH (2007). La evaluación del riesgo para el medio ambiente sólo es relevante para el medio acuático, cuando sea aplicable, incluyendo STP / EDAR, como emisiones de NaOH en las diferentes etapas del ciclo de vida (producción y uso) se aplican principalmente a (residuos) de agua. El efecto acuático y la evaluación del riesgo sólo se trató sobre los organismos / ecosistemas debido a posibles cambios de pH relacionados con las descargas de OH, ya que se espera que la toxicidad del ion Na⁺ sea insignificante en comparación con el efecto (potencial) del pH. Por otra parte, en lo que se refiere al uso de fertilizantes, es posible sacar las siguientes conclusiones sobre exposición: cuando el ácido nítrico se utiliza en los fertilizantes, el ácido nítrico se somete a mezcla inmediata con las otras sales de NPK (componentes principales de los fertilizantes). Como consecuencia, sólo se pueden encontrar residuos de ácido nítrico en el fertilizante y no es necesaria una evaluación cuantitativa.</p>
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente a la formulación y reenvasado del ácido nítrico de concentración inferior al 70%
	<p>La sección 2.2 describe la exposición potencial de los trabajadores debida a la formulación y reenvasado del ácido nítrico de concentración inferior al 70% .</p> <p>Todos los procesos relevantes para los distintos escenarios contributivos identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 1/2/3/4/5/8a/8b/9/15) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).</p> <p>Las vías de exposición consideradas relevantes para los trabajadores durante este uso son la inhalatoria, la dérmica y la ocular. La vía oral no es posible que suceda. La cuatificación del riesgo llevada a cabo para todas ellas ha sido la cualitativa y la conclusión es la siguiente:</p> <p>"Teniendo en cuenta las condiciones operativas y las medidas de gestión de riesgos (cuando existe la posibilidad de exposición), se considera que se controla el riesgo de causar efectos. La exposición potencial a la sustancia se mantiene al mínimo."</p>

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Características del producto	Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.
Cantidades utilizadas	No relevante
Frecuencia y duración del uso o exposición	La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.
Medidas y condiciones organizativas y técnicas	<ul style="list-style-type: none"> • Contención: Bajo condiciones de operación estándar, la sustancia está rigurosamente contenida por medios técnicos en el área de trabajo. Las actividades se llevan a cabo de manera estandarizada, bajo condiciones controladas en equipo especializados. En caso de que una determinada cantidad de sustancia no esté contenida, el trabajador no está expuesto a la sustancia ya que, se lleva a cabo en una campana extractora o cuando el trabajador lleva equipo de protección personal y utiliza ventilación de escape local. Se evita la formación de aerosoles / neblinas / salpicaduras. • Medidas organizativas: Minimizar el número de empleados en el área de trabajo. Minimizar las actividades manuales. Capacitar a los empleados en el manejo seguro de la sustancia, incl. cómo usar el equipo de protección personal. Limpie regularmente el área de trabajo. Tener una supervisión para comprobar periódicamente que las condiciones de uso son seguidas por los trabajadores. Asegúrese de que todo el equipo esté bien mantenido. Asegurar que la protección personal equipo está disponible y se utiliza de acuerdo con las instrucciones. Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad están disponibles en el área de trabajo. • Material adecuado: El material recomendado para tanques, recipientes y accesorios es de acero inoxidable austenítico con bajo contenido en carbono. • Materiales inadecuados: No utilice ningún metal, acero al carbono o polipropileno • Condiciones de ventilación en el área de trabajo: Úselo solo al aire libre o en un área bien ventilada (aproximadamente 5 cambios de aire por hora) • Ventilación de extracción local: Utilice ventilación de extracción local cuando el vapor / niebla / aerosol de ácido nítrico podría estar presente en el aire dentro de la zona de respiración de un trabajador. • Condiciones de almacenamiento: Almacenar en un lugar bien ventilado (preferiblemente en el exterior). En un área equipada con suelo resistente al ácido. Proteger de la luz solar. Mantenga los envases bien cerrados. Mantener alejado de combustible materiales, calor, superficies calientes, chispas, llamas abiertas y otras fuentes de ignición. • Monitoreo de gas: Utilice monitores de NOx estacionarios y / o portátiles en el lugar de trabajo, monitoreando los NOx normales niveles muy por debajo de 2,6 mg / m3
Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud	<ul style="list-style-type: none"> • General: Trabajar bajo un alto nivel de higiene personal. Lavarse las manos y la cara antes de los descansos. No coma, beba ni fume en el área de trabajo. • Protección respiratoria: En caso de que exista un riesgo de exposición por inhalación a la sustancia, siempre use una máscara de superficie completa con un cartucho de gas ácido o use un respirador / casco / traje de aire suministrado. La exposición potencial a la sustancia por inhalación debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña inhalada puede tener efectos (agudos y / o retardados) en el tracto respiratorio. • Dermal y protección de los ojos: En caso de riesgo de exposición dérmica (a través de equipo contaminado), use siempre ropa protectora resistente a los ácidos adecuada en el área de trabajo y use guantes resistentes a los ácidos según EN374 (y gafas protectoras / conforme a la norma EN166). La exposición a la sustancia debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña de una solución acuosa de la sustancia ya puede causar quemaduras graves y / o daño ocular. • Cuando se puedan formar aerosoles / neblinas de ácido nítrico, use un traje de protección química resistente al ácido adecuado con un respirador / casco / traje de aire suministrado. • Material adecuado: caucho butílico / fluorado.

3	Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH. Medidas no sujetas al art. 37 (4) REACH
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar sistemas cerrados o automatizados o cerrar los contenedores abiertos (con paneles, etc.) para evitar vapores, pulverizados y posibles salpicaduras irritantes. • Transportar a través de tuberías, llenado y vaciado de barriles técnicos con sistemas automáticos (bombas de succión, etc.) • Usar alicates, brazos de agarre con grandes asideros de uso manual "para evitar el contacto directo y la exposición por salpicaduras (no manipular productos cerca de uno mismo) • Almacene en zonas frescas, limpias y bien ventiladas, lejos de productos alcalinos y metales. No almacene bajo la luz del sol directa. No apile los contenedores. • No almacene a temperaturas cercanas al punto de congelación. • No se necesita una ventilación local o general, pero forma parte de unas buenas prácticas. 	

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 3

1	Título del Escenario de Exposición (ES) Uso en emplazamientos industriales. Uso del ácido nítrico en concentración inferior al 70% en emplazamientos industriales como intermedio.
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 3 SU 0, SU 8, SU 9 PC19 PROC 1/2/3/4/5/8a/8b/9/15 ERC 6a Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC) 1. Uso de sustancias intermedias (ERC 6a) Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC) 1. Producción de productos químicos o refinería en procesos cerrados en los que no hay probabilidades de exposición o procesos en condiciones de contención equivalentes (PROC 1) 2. Producción de productos químicos o refinería en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada o procesos cuyas condiciones de contención son equivalentes. (PROC 2) 3. Fabricación o formulación en la industria química en procesos por lotes cerrados con exposición ocasional controlada o procesos cuyas condiciones de contención son equivalentes. (PROC 3) 4. Producción de productos químicos en los que se puede producir la exposición. (PROC 4) 5. Mezclado en procesos por lotes. (PROC 5) 6. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC8a) 7. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC8b) 9. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC9) 10. Uso como reactivo de laboratorio (PROC15) *Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: Sistema de descriptores de uso: SU 8 (Fabricación de productos químicos a granel a gran escala (incluidos los productos del petróleo) / SU 9 (Fabricación de productos químicos finos) PC 19 (Intermedio)

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente al uso industrial como intermedio del ácido nítrico de concentración inferior al 70% (ES 3)
<p>La evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo no son necesarias.</p> <p>No se considera necesaria la realización de la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo para el medio ambiente. El destino ambiental del ácido nítrico es bien conocido: el ácido nítrico se disociará progresivamente a medida que cambie el pH. $\text{HNO}_3 = \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ ($\text{pK}_a = -1.4$)</p> <p>El pH natural puede variar significativamente entre los diferentes ecosistemas acuáticos, que a su vez pueden variar. El cambio de pH debido a la adición antrópica de ácido nítrico está influenciado por la capacidad tampón del agua receptora. El ácido puede afectar el nivel de pH del agua, lo que implica los efectos tóxicos observados para los organismos acuáticos. Los organismos pueden adaptarse a condiciones específicas: basados en las directrices de la OCDE para los ensayos de toxicidad los grupos taxonómicos, es decir, las algas, los crustáceos (daphnids) y los peces, un rango de pH de 6-9 se comunica que está bien tolerado por una variedad de organismos acuáticos.</p> <p>Por lo tanto, el efecto principal para los organismos / ecosistemas se debe a posibles cambios de pH relacionados con la descarga de ácido nítrico. Como consecuencia directa, sólo se abordará la escala local, ya que se espera que cualquier efecto pueda ser neutralizado a escala regional y continental. Debido a la muy alta solubilidad en agua, el ácido nítrico se encontrará predominantemente en agua. Exposición en el agua se evaluará, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales (STP) o las plantas de tratamiento de aguas aplicable.</p> <p>No se esperan emisiones significativas o exposición al aire, ya que el ácido nítrico reacciona rápidamente convirtiéndose en NO_x. No se espera tampoco exposición o emisiones significativas contaminantes al medio ambiente terrestre. La ruta de aplicación de emisión de todos a los suelos agrícolas no es relevante, ya que la sorción del ácido nítrico no ocurrirá en las STPs / EDAR. Este enfoque es similar al enfoque documentado en el RAR de la UE sobre NaOH (2007). La evaluación del riesgo para el medio ambiente sólo es relevante para el medio acuático, cuando sea aplicable, incluyendo STP / EDAR, como emisiones de NaOH en las diferentes etapas del ciclo de vida (producción y uso) se aplican principalmente a (residuos) de agua. El efecto acuático y la evaluación del riesgo sólo se trató sobre los organismos / ecosistemas debido a posibles cambios de pH relacionados con las descargas de OH^-, ya que se espera que la toxicidad del ion Na^+ sea insignificante en comparación con el efecto (potencial) del pH. Por otra parte, en lo que se refiere al uso de fertilizantes, es posible sacar las siguientes conclusiones sobre exposición: cuando el ácido nítrico se utiliza en los fertilizantes, el ácido nítrico se somete a mezcla inmediata con las otras sales de NPK (componentes principales de los fertilizantes). Como consecuencia, sólo se pueden encontrar residuos de ácido nítrico en el fertilizante y no es necesaria una evaluación cuantitativa.</p>	
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente al uso intermedio en un establecimiento industrial del ácido nítrico de concentración inferior al 70%
<p>La sección 2.2 describe la exposición potencial de los trabajadores debida al uso como intermedio en un establecimiento industrial del ácido nítrico de concentración inferior al 70%.</p> <p>Todos los procesos relevantes para los distintos escenarios contributivos identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 1/2/3/4/5/8a/8b/9/15) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).</p> <p>Las vías de exposición consideradas relevantes para los trabajadores durante este uso son la inhalatoria, la dérmica y la ocular. La vía oral no es posible que suceda. La cuatificación del riesgo llevada a cabo para todas ellas ha sido la cualitativa y la conclusión es la siguiente:</p> <p>"Teniendo en cuenta las condiciones operativas y las medidas de gestión de riesgos (cuando existe la posibilidad de exposición), se considera que se controla el riesgo de causar efectos. La exposición potencial a la sustancia se mantiene al mínimo."</p>	
Características del producto	
Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.	
Cantidades utilizadas	
No relevante	
Frecuencia y duración del uso o exposición	
La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.	
Medidas y condiciones organizativas y técnicas	
<ul style="list-style-type: none"> • Contención: Bajo condiciones de operación estándar, la sustancia está rigurosamente contenida por medios técnicos en el área de trabajo. Las actividades se llevan a cabo de manera estandarizada, bajo condiciones controladas en equipo especializados. En caso de que una determinada cantidad de sustancia no esté contenida, el trabajador no está expuesto a la sustancia ya que, se lleva a cabo en una campana extractora o cuando el trabajador lleva equipo de protección personal y utiliza ventilación de escape local. Se evita la formación de aerosoles / neblinas / salpicaduras. • Medidas organizativas: Minimizar el número de empleados en el área de trabajo. Minimizar las actividades manuales. Capacitar a los empleados en el manejo seguro de la sustancia, incl. cómo usar el equipo de protección personal. Limpie regularmente el área de trabajo. Tener una supervisión para comprobar periódicamente que las condiciones de uso son seguidas por los trabajadores. Asegúrese de que todo el equipo esté bien mantenido. Asegurar que la protección personal equipo está disponible y se utiliza de acuerdo con las instrucciones. Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad están disponibles en el área de trabajo. • Material adecuado: El material recomendado para tanques, recipientes y accesorios es de acero inoxidable austenítico con bajo contenido en carbono. • Materiales inadecuados: No utilice ningún metal, acero al carbono o polipropileno • Condiciones de ventilación en el área de trabajo: Úselo solo al aire libre o en un área bien ventilada (aproximadamente 5 cambios de aire por hora) • Ventilación de extracción local: Utilice ventilación de extracción local cuando el vapor / niebla / aerosol de ácido nítrico podría estar presente en el aire dentro de la zona de respiración de un trabajador. • Condiciones de almacenamiento: Almacenar en un lugar bien ventilado (preferiblemente en el exterior). En un área equipada con suelo resistente al ácido. Proteger de la luz solar. Mantenga los envases bien cerrados. Mantener alejado de combustible materiales, calor, superficies calientes, chispas, llamas abiertas y otras fuentes de ignición. • Monitoreo de gas: Utilice monitores de NO_x estacionarios y / o portátiles en el lugar de trabajo, monitoreando los NO_x normales niveles muy por debajo de 2,6 mg / m³ 	
Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud	
<ul style="list-style-type: none"> • General: Trabajar bajo un alto nivel de higiene personal. Lavarse las manos y la cara antes de los descansos. No coma, beba ni fume en el área de trabajo. • Protección respiratoria: En caso de que exista un riesgo de exposición por inhalación a la sustancia, siempre use una máscara de superficie completa con un cartucho de gas ácido o use un respirador / casco / traje de aire suministrado. La exposición potencial a la sustancia por inhalación debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña inhalada puede tener efectos (agudos y / o retardados) en el tracto respiratorio. • Dermal y protección de los ojos: En caso de riesgo de exposición dérmica (a través de equipo contaminado), use siempre ropa protectora resistente a los ácidos adecuada en el área de trabajo y use guantes resistentes a los ácidos según EN374 (y gafas protectoras / conforme a la norma EN166). La exposición a la sustancia debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña de una solución acuosa de la sustancia ya puede causar quemaduras graves y / o daño ocular. • Cuando se puedan formar aerosoles / nieblas de ácido nítrico, use un traje de protección química resistente al ácido adecuado con un respirador / casco / traje de aire suministrado. • Material adecuado: caucho butílico / fluorado. 	
3	Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH. Medidas no sujetas al art. 37 (4) REACH
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar sistemas cerrados o automatizados o cerrar los contenedores abiertos (con paneles, etc.) para evitar vapores, pulverizados y posibles salpicaduras irritantes. • Transportar a través de tuberías, llenado y vaciado de barriles técnicos con sistemas automáticos (bombas de succión, etc.) • Usar alicates, brazos de agarre con grandes asideros de uso manual "para evitar el contacto directo y la exposición por salpicaduras (no manipular productos cerca de uno mismo) • Almacene en zonas frescas, limpias y bien ventiladas, lejos de productos alcalinos y metales. No almacene bajo la luz del sol directa. No apile los contenedores. • No almacene a temperaturas cercanas al punto de congelación. • No se necesita una ventilación local o general, pero forma parte de unas buenas prácticas. 	

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 4

1	Título del Escenario de Exposición (ES)						
	<p>Uso en emplazamientos industriales. Uso del ácido nítrico en concentración inferior al 70% en emplazamientos industriales como ayuda en procesos reactivos (agente limpiador, regulador de pH, tratamiento gas residual, regeneración de resinas de intercambio iónico, tratamiento de metales, tratamiento de plásticos, producto de tratamiento superficial, tratamiento de agua).</p>						
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición						
	<p>Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 2</p> <p>SU0, SU 2a, SU 4, SU 6a, SU8, SU9, SU 12, SU 14, SU 15, SU 16, SU 19, SU 23 * PC0, PC14, PC15, PC20, PC35, PC37 * PROC 1/2/3/4/5/7/8a/8b/9/10/13/15 ERC 4/6b</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)</p> <p>1. Uso de auxiliares tecnológicos no reactivos en emplazamientos industriales (no forman parte de artículos) (ERC 4) 2. Uso de auxiliares tecnológicos reactivos en emplazamientos industriales (no forman parte de artículos) (ERC 6b)</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC)</p> <p>1. Producción de productos químicos o refinería en procesos cerrados en los que no hay probabilidades de exposición o procesos en condiciones de contención equivalentes (PROC 1) 2. Producción de productos químicos o refinería en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada o procesos cuyas condiciones de contención son equivalentes. (PROC 2) 3. Fabricación o formulación en la industria química en procesos por lotes cerrados con exposición ocasional controlada o procesos cuyas condiciones de contención son equivalentes. (PROC 3) 4. Producción de productos químicos en los que se puede producir la exposición. (PROC 4) 5. Mezclado en procesos por lotes. (PROC 5) 6. Pulverización industrial. (PROC 7) 7. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC8a) 8. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC8b) 9. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC9) 10. Aplicación mediante rodillo o brocha. (PROC 10) 11. Tratamiento de artículos mediante inmersión y vertido. (PROC 13) 12. Uso como reactivo de laboratorio (PROC15)</p> <p>*Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: Sistema de descriptores de uso: SU 0 (C21-Fabricación de productos farmacéuticos básicos, ciclo del combustible nuclear) / SU 2a (Industrias extractivas (sin incluir las industrias en mar abierto)) / SU 4 (Industrias de la alimentación) / SU 6a (Manufacturas de madera y productos de madera) / SU 8 (Fabricación de productos químicos a granel a gran escala (incluidos los productos del petróleo)) / SU 9 (Fabricación de productos químicos finos) / SU 12 (Fabricación de productos de materias plásticas, incluidas la composición y conversión) / SU 14 (Fabricación de metales básicos, incluidas aleaciones) / SU 15 (Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipos) / SU 16 (Fabricación de equipos informáticos, material electrónico y óptico y equipos eléctricos) / SU 19 (Construcción de edificios y obras de construcción) / SU 23 (Suministro de electricidad, vapor, gas y agua y depuración de aguas residuales) PC 0 (UCN code : A052 50 ion exchanger) / PC 14 (Productos de tratamiento de las superficies metálicas, incluidos los productos de galvanizado y electrolisis) / PC 15 (Productos de tratamiento de superficies no metálicas) / PC 20 (Productos como reguladores del pH, agentes floculantes, precipitantes y neutralizantes) / PC 35 (Productos de lavado y limpieza (incluidos los productos que contienen disolventes) / PC 37 (Productos químicos para el tratamiento del agua)</p>						
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente al uso industrial del ácido nítrico como ayuda a procesos reactivos de concentración inferior al 70% (ES 3)						
	<p>La evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo no son necesarias.</p> <p>No se considera necesaria la realización de la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo para el medio ambiente. El destino ambiental del ácido nítrico es bien conocido: el ácido nítrico se disociará progresivamente a medida que cambie el pH. $\text{HNO}_3 = \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ ($\text{pK}_a = -1,4$) El pH natural puede variar significativamente entre los diferentes ecosistemas acuáticos, que a su vez pueden variar. El cambio de pH debido a la adición antrópica de ácido nítrico está influenciado por la capacidad tampón del agua receptora. El ácido puede afectar el nivel de pH del agua, lo que implica los efectos tóxicos observados para los organismos acuáticos. Los organismos pueden adaptarse a condiciones específicas: basados en las directrices de la OCDE para los ensayos de toxicidad los grupos taxonómicos, es decir, las algas, los crustáceos (daphnids) y los peces, un rango de pH de 6-9 se comunica que está bien tolerado por una variedad de organismos acuáticos. Por lo tanto, el efecto principal para los organismos / ecosistemas se debe a posibles cambios de pH relacionados con la descarga de ácido nítrico. Como consecuencia directa, sólo se abordará la escala local, ya que se espera que cualquier efecto pueda ser neutralizado a escala regional y continental. Debido a la muy alta solubilidad en agua, el ácido nítrico se encontrará predominantemente en agua. Exposición en el agua se evalúan, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales (STP) o las plantas de tratamiento de aguas aplicable. No se esperan emisiones significativas o exposición al aire, ya que el ácido nítrico reacciona rápidamente convirtiéndose en NOx. No se espera tampoco exposición o emisiones significativas contaminantes al medio ambiente terrestre. La ruta de aplicación de emisión de lodos a los suelos agrícolas no es relevante, ya que la sorción del ácido nítrico no ocurrirá en las STPs / EDAR. Este enfoque es similar al enfoque documentado en el RAR de la UE sobre NaOH (2007). La evaluación del riesgo para el medio ambiente sólo es relevante para el medio acuático, cuando sea aplicable, incluyendo STP / EDAR, como emisiones de NaOH en las diferentes etapas del ciclo de vida (producción y uso) se aplican principalmente a (residuos) de agua. El efecto acuático y la evaluación del riesgo sólo se trató sobre los organismos / ecosistemas debido a posibles cambios de pH relacionados con las descargas de OH, ya que se espera que la toxicidad del ion Na + sea insignificante en comparación con el efecto (potencial) del pH. Por otra parte, en lo que se refiere al uso de fertilizantes, es posible sacar las siguientes conclusiones sobre exposición: cuando el ácido nítrico se utiliza en los fertilizantes, el ácido nítrico se somete a mezcla inmediata con las otras sales de NPK (componentes principales de los fertilizantes). Como consecuencia, sólo se pueden encontrar residuos de ácido nítrico en el fertilizante y no es necesaria una evaluación cuantitativa.</p>						
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente al uso industrial del ácido nítrico como ayuda a procesos reactivos de concentración inferior al 70%						
	<p>La sección 2.2 describe la exposición potencial de los trabajadores debida a la fabricación del ácido nítrico de concentración inferior al 70% .</p> <p>Todos los procesos relevantes para los distintos escenarios contributivos identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 1/2/3/4/5/7/8a/8b/9/10/13/15) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).</p> <p>Las vías de exposición consideradas relevantes para los trabajadores durante este uso son la inhalatoria, la dérmica y la ocular. La vía oral no es posible que suceda. La cualificación del riesgo llevada a cabo para todas ellas ha sido la cualitativa y la conclusión es la siguiente:</p> <p>"Teniendo en cuenta las condiciones operativas y las medidas de gestión de riesgos (cuando existe la posibilidad de exposición), se considera que se controla el riesgo de causar efectos. La exposición potencial a la sustancia al mínimo."</p>						
	<table border="1"> <tr> <td>Características del producto</td> <td>Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.</td> </tr> <tr> <td>Cantidades utilizadas</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia y duración del uso o exposición</td> <td>La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.</td> </tr> </table>	Características del producto	Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.	Cantidades utilizadas	No relevante	Frecuencia y duración del uso o exposición	La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.
Características del producto	Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.						
Cantidades utilizadas	No relevante						
Frecuencia y duración del uso o exposición	La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.						

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

<p>Medidas y condiciones organizativas y técnicas</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Contención: Bajo condiciones de operación estándar, la sustancia está rigurosamente contenida por medios técnicos en el área de trabajo. Las actividades se llevan a cabo de manera estandarizada, bajo condiciones controladas en equipo especializados. En caso de que una determinada cantidad de sustancia no esté contenida, el trabajador no está expuesto a la sustancia ya que, se lleva a cabo en una campana extractora o cuando el trabajador lleva equipo de protección personal y utiliza ventilación de escape local. Se evita la formación de aerosoles / neblinas / salpicaduras. • Medidas organizativas: Minimizar el número de empleados en el área de trabajo. Minimizar las actividades manuales. Capacitar a los empleados en el manejo seguro de la sustancia, incl. cómo usar el equipo de protección personal. Limpie regularmente el área de trabajo. Tener una supervisión para comprobar periódicamente que las condiciones de uso son seguidas por los trabajadores. Asegúrese de que todo el equipo esté bien mantenido. Asegurar que la protección personal equipo está disponible y se utiliza de acuerdo con las instrucciones. Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad están disponibles en el área de trabajo. • Material adecuado: El material recomendado para tanques, recipientes y accesorios es de acero inoxidable austenítico con bajo contenido en carbono. • Materiales inadecuados: No utilice ningún metal, acero al carbono o polipropileno • Condiciones de ventilación en el área de trabajo: Úselo solo al aire libre o en un área bien ventilada (aproximadamente 5 cambios de aire por hora) • Ventilación de extracción local: Utilice ventilación de extracción local cuando el vapor / niebla / aerosol de ácido nítrico podría estar presente en el aire dentro de la zona de respiración de un trabajador. • Condiciones de almacenamiento: Almacenar en un lugar bien ventilado (preferiblemente en el exterior). En un área equipada con suelo resistente al ácido. Proteger de la luz solar. Mantenga los envases bien cerrados. Mantener alejado de combustible materiales, calor, superficies calientes, chispas, llamas abiertas y otras fuentes de ignición. • Monitoreo de gas: Utilice monitores de NOx estacionarios y / o portátiles en el lugar de trabajo, monitoreando los NOx normales niveles muy por debajo de 2,6 mg / m3
<p>Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud</p>	<ul style="list-style-type: none"> • General: Trabajar bajo un alto nivel de higiene personal. Lavarse las manos y la cara antes de los descansos. No coma, beba ni fume en el área de trabajo. • Protección respiratoria: En caso de que exista un riesgo de exposición por inhalación a la sustancia, siempre use una máscara de superficie completa con un cartucho de gas ácido o use un respirador / casco / traje de aire suministrado. La exposición potencial a la sustancia por inhalación debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña inhalada puede tener efectos (agudos y / o retardados) en el tracto respiratorio. • Dermal y protección de los ojos: En caso de riesgo de exposición dérmica (a través de equipo contaminado), use siempre ropa protectora resistente a los ácidos adecuada en el área de trabajo y use guantes resistentes a los ácidos según EN374 (y gafas protectoras / conforme a la norma EN166). La exposición a la sustancia debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña de una solución acuosa de la sustancia ya puede causar quemaduras graves y / o daño ocular. • Cuando se puedan formar aerosoles / neblinas de ácido nítrico, use un traje de protección química resistente al ácido adecuado con un respirador / casco / traje de aire suministrado. • Material adecuado: caucho butílico / fluorado.
<p>3</p>	<p>Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH.</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar sistemas cerrados o automatizados o cerrar los contenedores abiertos (con paneles, etc.) para evitar vapores, pulverizados y posibles salpicaduras irritantes. • Transportar a través de tuberías, llenado y vaciado de barriles técnicos con sistemas automáticos (bombas de succión, etc.) • Usar alicates, brazos de agarre con grandes asideros de uso manual "para evitar el contacto directo y la exposición por salpicaduras (no manipular productos cerca de uno mismo) • Almacene en zonas frescas, limpias y bien ventiladas, lejos de productos alcalinos y metales. No almacene bajo la luz del sol directa. No apile los contenedores. • No almacene a temperaturas cercanas al punto de congelación. • No se necesita una ventilación local o general, pero forma parte de unas buenas prácticas. 	

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 5

1	Título del Escenario de Exposición (ES)						
	<p>Uso generalizado por trabajadores profesionales. Uso del ácido nítrico en concentración inferior al 70%: (al aire libre y en interiores, en sistemas abiertos como agente de limpieza, regulador de pH, tratamiento de metales)</p>						
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición						
	<p>Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 2</p> <p>SU 1, SU 2a, SU 4, SU 6a, SU 12, SU 14, SU 15, SU 16, SU 19, SU 23 * PC12, PC14, PC15, PC20, PC35 * PROC 5/8a/8b/9/10/11/13/15/19 ERC 8b/8e</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)</p> <p>1. Amplio uso dispersivo, en interiores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8b) 2. Amplio uso dispersivo, en exteriores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8e)</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC)</p> <p>1. Mezclado en procesos por lotes para la formulación de mezclas y artículos (PROC 5) 2. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC8a) 3. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC8b) 4. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC9) 5. Aplicación mediante rodillo o brocha (PROC 10) 6. Pulverización no industrial (PROC 11) 7. Tratamiento de artículos mediante inmersión y derrame (PROC 13) 8. Uso como reactivo de laboratorio (PROC15) 9. Mezclado manual con contacto estrecho y utilización únicamente de equipos de protección personal (PROC 19)</p> <p>*Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: Sistema de descriptores de uso: SU 1 (Agricultura, silvicultura, pesca) / SU 2a (Industrias extractivas (sin incluir las industrias en mar abierto)) / SU 4 (Industrias de la alimentación) / SU 6a (Manufacturas de madera y productos de madera) / SU 12 (Fabricación de productos de materias plásticas, incluidas la composición y conversión) / SU 14 (Fabricación de metales básicos, incluidas aleaciones) / SU 15 (Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipos) / SU 16 (Fabricación de equipos informáticos, material electrónico y óptico y equipos eléctricos) / SU 19 (Construcción de edificios y obras de construcción) / SU 23 (Suministro de electricidad, vapor, gas y agua y depuración de aguas residuales) PC 12 (Fertilizantes) / PC 14 (Productos de tratamiento de las superficies metálicas, incluidos los productos de galvanizado y electrólisis) / PC 15 (Productos de tratamiento de superficies no metálicas) / PC 20 (Productos como reguladores del pH, agentes floculantes, precipitantes y neutralizantes) / PC 35 (Productos de lavado y limpieza (incluidos los productos que contienen disolventes))</p>						
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente al uso profesional del ácido nítrico de concentración inferior al 70% (ES 3)						
	<p>La evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo no son necesarias.</p> <p>No se considera necesaria la realización de la evaluación de la exposición y la caracterización del riesgo para el medio ambiente. El destino ambiental del ácido nítrico es bien conocido: el ácido nítrico se disociará progresivamente a medida que cambie el pH. $\text{HNO}_3 = \text{H}^+ + \text{NO}_3^-$ ($\text{pK}_a = -1,4$) El pH natural puede variar significativamente entre los diferentes ecosistemas acuáticos, que a su vez pueden variar. El cambio de pH debido a la adición antrópica de ácido nítrico está influenciado por la capacidad tampón del agua receptora. El ácido puede afectar el nivel de pH del agua, lo que implica los efectos tóxicos observados para los organismos acuáticos. Los organismos pueden adaptarse a condiciones específicas: basados en las directrices de la OCDE para los ensayos de toxicidad los grupos taxonómicos, es decir, las algas, los crustáceos (daphnids) y los peces, un rango de pH de 6-9 se comunica que está bien tolerado por una variedad de organismos acuáticos. Por lo tanto, el efecto principal para los organismos / ecosistemas se debe a posibles cambios de pH relacionados con la descarga de ácido nítrico. Como consecuencia directa, sólo se abordará la escala local, ya que se espera que cualquier efecto pueda ser neutralizado a escala regional y continental. Debido a la muy alta solubilidad en agua, el ácido nítrico se encontrará predominantemente en agua. Exposición en el agua se evalúan, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales (STP) o las plantas de tratamiento de aguas aplicable. No se esperan emisiones significativas o exposición al aire, ya que el ácido nítrico reacciona rápidamente convirtiéndose en NOx. No se espera tampoco exposición o emisiones significativas contaminantes al medio ambiente terrestre. La ruta de aplicación de emisión de lodos a los suelos agrícolas no es relevante, ya que la sorción del ácido nítrico no ocurrirá en las STPs / EDAR. Este enfoque es similar al enfoque documentado en el RAR de la UE sobre NaOH (2007). La evaluación del riesgo para el medio ambiente sólo es relevante para el medio acuático, cuando sea aplicable, incluyendo STP / EDAR, como emisiones de NaOH en las diferentes etapas del ciclo de vida (producción y uso) se aplican principalmente a (residuos) de agua. El efecto acuático y la evaluación del riesgo sólo se trató sobre los organismos / ecosistemas debido a posibles cambios de pH relacionados con las descargas de OH, ya que se espera que la toxicidad del ion Na⁺ sea insignificante en comparación con el efecto (potencial) del pH. Por otra parte, en lo que se refiere al uso de fertilizantes, es posible sacar las siguientes conclusiones sobre exposición: cuando el ácido nítrico se utiliza en los fertilizantes, el ácido nítrico se somete a mezcla inmediata con las otras sales de NPK (componentes principales de los fertilizantes). Como consecuencia, sólo se pueden encontrar residuos de ácido nítrico en el fertilizante y no es necesaria una evaluación cuantitativa.</p>						
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente al uso profesional del ácido nítrico de concentración inferior al 70%						
	<p>La sección 2.2 describe la exposición potencial de los trabajadores debida a la fabricación del ácido nítrico de concentración inferior al 70% .</p> <p>Todos los procesos relevantes para los distintos escenarios contributivos identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 5/8a/8b/9/10/11/13/15/19) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).</p> <p>Las vías de exposición consideradas relevantes para los trabajadores durante este uso son la inhalatoria, la dérmica y la ocular. La vía oral no es posible que suceda. La cuatificación del riesgo llevada a cabo para todas ellas ha sido la cualitativa y la conclusión es la siguiente:</p> <p>"Teniendo en cuenta las condiciones operativas y las medidas de gestión de riesgos (cuando existe la posibilidad de exposición), se considera que se controla el riesgo de causar efectos. La exposición potencial a la sustancia se mantiene al mínimo."</p>						
	<table border="1"> <tr> <td>Características del producto</td> <td>Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.</td> </tr> <tr> <td>Cantidades utilizadas</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia y duración del uso o exposición</td> <td>La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.</td> </tr> </table>	Características del producto	Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.	Cantidades utilizadas	No relevante	Frecuencia y duración del uso o exposición	La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.
Características del producto	Líquido, concentración <70% de ácido nítrico.						
Cantidades utilizadas	No relevante						
Frecuencia y duración del uso o exposición	La duración de las actividades en el área de trabajo es: ≤8 horas/día.						

Ácido Nítrico (≥57% y <62%)

Medidas y condiciones organizativas y técnicas	<ul style="list-style-type: none"> • Contención: Bajo condiciones de operación estándar, la sustancia está rigurosamente contenida por medios técnicos en el área de trabajo. Las actividades se llevan a cabo de manera estandarizada, bajo condiciones controladas en equipo especializados. En caso de que una determinada cantidad de sustancia no esté contenida, el trabajador no está expuesto a la sustancia ya que, se lleva a cabo en una campana extractora o cuando el trabajador lleva equipo de protección personal y utiliza ventilación de escape local. Se evita la formación de aerosoles / neblinas / salpicaduras. • Medidas organizativas: Minimizar el número de empleados en el área de trabajo. Minimizar las actividades manuales. Capacitar a los empleados en el manejo seguro de la sustancia, incl. cómo usar el equipo de protección personal. Limpie regularmente el área de trabajo. Tener una supervisión para comprobar periódicamente que las condiciones de uso son seguidas por los trabajadores. Asegúrese de que todo el equipo esté bien mantenido. Asegurar que la protección personal equipo está disponible y se utiliza de acuerdo con las instrucciones. Asegúrese de que las estaciones de lavado de ojos y las duchas de seguridad están disponibles en el área de trabajo. • Material adecuado: El material recomendado para tanques, recipientes y accesorios es de acero inoxidable austenítico con bajo contenido en carbono. • Materiales inadecuados: No utilice ningún metal, acero al carbono o polipropileno • Condiciones de ventilación en el área de trabajo: Úselo solo al aire libre o en un área bien ventilada (aproximadamente 5 cambios de aire por hora) • Ventilación de extracción local: Utilice ventilación de extracción local cuando el vapor / niebla / aerosol de ácido nítrico podría estar presente en el aire dentro de la zona de respiración de un trabajador. • Condiciones de almacenamiento: Almacenar en un lugar bien ventilado (preferiblemente en el exterior). En un área equipada con suelo resistente al ácido. Proteger de la luz solar. Mantenga los envases bien cerrados. Mantener alejado de combustible materiales, calor, superficies calientes, chispas, llamas abiertas y otras fuentes de ignición. • Monitoreo de gas: Utilice monitores de NOx estacionarios y / o portátiles en el lugar de trabajo, monitoreando los NOx normales niveles muy por debajo de 2,6 mg / m3
Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud	<ul style="list-style-type: none"> • General: Trabajar bajo un alto nivel de higiene personal. Lavarse las manos y la cara antes de los descansos. No coma, beba ni fume en el área de trabajo. • Protección respiratoria: En caso de que exista un riesgo de exposición por inhalación a la sustancia, siempre use una máscara de superficie completa con un cartucho de gas ácido o use un respirador / casco / traje de aire suministrado. La exposición potencial a la sustancia por inhalación debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña inhalada puede tener efectos (agudos y / o retardados) en el tracto respiratorio. • Dermal y protección de los ojos: En caso de riesgo de exposición dérmica (a través de equipo contaminado), use siempre ropa protectora resistente a los ácidos adecuada en el área de trabajo y use guantes resistentes a los ácidos según EN374 (y gafas protectoras / conforme a la norma EN166). La exposición a la sustancia debe mantenerse al mínimo. La cantidad más pequeña de una solución acuosa de la sustancia ya puede causar quemaduras graves y / o daño ocular. • Cuando se puedan formar aerosoles / neblinas de ácido nítrico, use un traje de protección química resistente al ácido adecuado con un respirador / casco / traje de aire suministrado. • Material adecuado: caucho butílico / fluorado.
3	Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH.
<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar sistemas cerrados o automatizados o cerrar los contenedores abiertos (con paneles, etc.) para evitar vapores, pulverizados y posibles salpicaduras irritantes. • Transportar a través de tuberías, llenado y vaciado de barriles técnicos con sistemas automáticos (bombas de succión, etc.) • Usar alicates, brazos de agarre con grandes asideros de uso manual "para evitar el contacto directo y la exposición por salpicaduras (no manipular productos cerca de uno mismo) • Almacene en zonas frescas, limpias y bien ventiladas, lejos de productos alcalinos y metales. No almacene bajo la luz del sol directa. No apile los contenedores. • No almacene a temperaturas cercanas al punto de congelación. • No se necesita una ventilación local o general, pero forma parte de unas buenas prácticas. 	

Ficha de Datos de Seguridad

De acuerdo con el Reglamento (UE) N° 830/2015 de la Comisión

Fecha de edición 22/05/2017
Edición 5
Fecha de revisión 14/12/2017
Revisión 6

Amoniaco Anhidro

SECCIÓN 1 Identificación de la sustancia o de la mezcla y de la sociedad o la empresa

1.1	Identificador del producto	
	Nombre comercial del producto Nombre químico Sinónimos Formulación química Número de índice EU (Anexo 1) CE No CAS No. REACH o Número nacional de registro del producto	Amoniaco anhidro 82%; Amoniaco grado metalúrgico Amoniaco Amoniaco Líquido, Amoniaco Licuado, Amoniaco Anhidro. NH3 007-001-00-5 231-635-3 7664-41-7 01-211948876-14-0038
1.2	Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados	
	Usos identificados Usos desaconsejados	Distribución y formulación, como sustancia intermedia en diversos procesos industriales, aditivo de proceso como agente auxiliar, producto químico de laboratorio, producto de limpieza, regulador de pH, fertilizante.
1.3	Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad	
	Nombre de la compañía Dirección de la compañía Teléfono de la compañía e-mail de la compañía para FDS	FERTIBERIA. S.A.. Paseo de la Castellana, 259 D. Plantas 47 y 48 - 28046 Madrid Central: 91.586.62.00; Fábrica de Avilés: 985.57.78.50; Fábrica de Huelva: 959.28.12.11; Fábrica de Palos: 959.49.24.00; Fábrica de Puertollano: 926.44.93.00; Fábrica de Sagunto: 962.69.90.04 reachfertiberia@fertiberia.es
1.4	Teléfono de emergencia	
	Fábrica de Avilés: 985.57.78.50; Fábrica de Huelva: 959.28.12.11; Fábrica de Palos: 959.49.24.00; Fábrica de Puertollano: 926.44.93.00; Fábrica de Sagunto: 962.69.90.04	

SECCIÓN 2 Identificación de los peligros

2.1	Clasificación de la sustancia o de la mezcla*	De acuerdo con el Reglamento CE 1272/2008 [CLP] Flam. Gas 2; H221 Compressed gas; H280 Acute Tox. 3; H331 Skin corr. 1B; H314 Eye Dam. 1; H318 Aquatic Acute 1; H400 Aquatic Chronic 2; H411 EUH071			
2.2	Elementos de la etiqueta	Pictogramas 	Palabra de advertencia Peligro	Indicaciones de peligro H221 H280 H314 H331 H400 EUH071	Consejos de Prudencia P210 P260 P280 P303+P361+P353 P305+P351+P338+P310 P403+P233
2.3	Otros peligros	No cumple con los criterios de sustancia PBT ni mPmB			

* Para conocer el significado completo de las indicaciones de peligro (H): ver sección 16

SECCIÓN 3 Composición/información sobre los componentes

3.1	Nombre	N° CE	N° CAS	%(p/p)	Nombre IUPAC	Clasificación Rgto. 1272/2008	Límites de concentración específicos
	Amoniaco anhidro	231-635-3	7664-41-7	>=99,5%	Ammonia	Flam. Gas 2; H221 Compressed gas; H280 Acute Tox. 3; H331 Skin corr. 1B; H314 Eye Dam. 1; H318 Aquatic Acute 1; H400 Aquatic Chronic 2; H411 EUH071	1,0≤C<5,0: Skin Irrit. 2; H315 C≥ 5,0: Skin Corr. 1B; H314; STOT Single Exp. 3; H335 2,5≤C<25,0: Aquatic Chronic 3; H412 C≥25,0: Aquatic Acute 1; H400 Aquatic Chronic 2; H411

Amoniaco Anhidro

SECCIÓN 4 Primeros auxilios	
4.1	Descripción de los primeros auxilios
General	La rapidez es esencial. Las personas que intervienen en tareas de primeros auxilios deben estar adecuadamente protegidos. (ver sección 8). Retire a la persona afectada para evitar más exposiciones. Proporcione primeros auxilios y obtenga inmediatamente atención médica en todos los casos. Asegúrese de que las instalaciones lavajos y las duchas de seguridad estén instaladas en las proximidades del lugar de trabajo.
Inhalación	En caso de accidente por inhalación, traslade a la persona afectada al aire libre y haga que descanse. Tumbe a la persona afectada en posición de recuperación, cúbrala y no permita que se enfríe. Si es preciso suministre oxígeno o respiración artificial. Lleve a la persona afectada al hospital cuanto antes.
Ingestión	Lleve a la persona afectada al hospital cuanto antes. Si la persona afectada está consciente: en caso de que lo haya tragado, aclare la boca con agua (sólo si la persona está consciente). NO provoque vómitos. Es posible que sea necesaria respiración artificial u oxígeno. Si la persona afectada está inconsciente pero respira, proporciónale oxígeno o respiración artificial si lo necesita.
Contacto con la piel	Lávese con abundante agua. Quítese la ropa y los zapatos contaminados de inmediato. Manténgase caliente y en un lugar tranquilo. Lleve a la persona afectada al hospital cuanto antes.
Contacto con los ojos	Aclare inmediatamente con abundante agua, también bajo los párpados, durante al menos 15 minutos. Lleve a la persona afectada al hospital cuanto antes.
4.2	Principales síntomas y efectos, agudos y retardados
	Puede presentar daño ocular progresivo. Mantener bajo vigilancia médica ante la posibilidad de problemas bronquiales, traqueales o edema pulmonar. La ropa contaminada puede contener y desprender amoniaco.
4.3	Indicación de toda atención médica y tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente
	Después de una exposición severa, el paciente debe mantenerse en observación durante al menos 48 h. Se puede presentar edema pulmonar retardado.
SECCIÓN 5 Medidas de lucha contra incendios	
5.1	Medios de extinción
	Medios de extinción adecuados Los medios apropiados pueden incluir agua pulverizada, polvo químico seco, niebla de agua o espuma.
	Medios de extinción que no deben usarse No aplicar agua directamente sobre el amoniaco líquido para evitar el calentamiento y evaporación.
5.2	Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla
Peligros especiales	La mezcla de amoniaco y aire, en espacios abiertos, difícilmente se encontrará dentro de los límites de inflamabilidad por consiguiente el riesgo de incendio o explosión es despreciable. En espacios cerrados dicha mezcla puede tener riesgos de explosión si se pone en contacto con una fuente de ignición. Los recipientes cerrados conteniendo amoniaco pueden explotar por el efecto de la presión si se ven sometidos a calentamiento. En contacto con el agua puede liberar calor, por lo que existen riesgos de salpicaduras. Cuando la temperatura ambiente es baja la niebla de amoniaco puede impedir la visibilidad.
Peligros de la descomposición térmica ó de la combustión del producto	El amoniaco es difícil de quemar, su combustión contendrá óxidos de nitrógeno.
5.3	Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios
	Métodos específicos de lucha contra incendios Regar los recipientes y tanques con agua pulverizada para mantenerlos fríos. Elimine los gases/vapores/neblinas con un chorro de agua pulverizada. Actuar desde una posición a espaldas del viento. Evite cualquier contacto con agua contaminada. Una vez extinguido el incendio, limpie rápidamente las superficies que han estado expuestas a los humos para reducir en lo posible los daños en el equipo.
	Protección especial en la lucha contra incendios Utilice aparatos de respiración individuales y traje de protección. Los bomberos deben llevar un equipo personal de protección resistente al fuego y a los productos químicos.
SECCIÓN 6 Medidas en caso de vertido accidental	
6.1	Precauciones personales, equipos de protección y procedimientos de emergencia
	Las personas que intervengan en una liberación importante deberán utilizar traje hermético y protección respiratoria. Actuar desde una posición a espaldas del viento. Abandonar el área afectada en sentido perpendicular a la propagación de la nube. Si es posible y seguro, evite que sigan produciéndose fugas o derrames. Utilice aparatos de respiración individuales en los espacios cerrados, cuando el nivel de oxígeno sea insuficiente o si se producen emisiones significativas. Los vapores de amoniaco se pueden controlar con agua pulverizada. Evite cualquier contacto con agua contaminada. Manténgase alejado de productos incompatibles. Usar gafas de seguridad, guantes resistentes a agentes químicos (PVC) y botas de goma.
6.2	Precauciones relativas al medio ambiente
	Tomar precauciones para evitar la contaminación de cursos de agua y/o drenajes. En caso de contaminación de dichos cursos de agua y/o drenajes, informar a las autoridades pertinentes.
6.3	Métodos y material de contención y de limpieza
	Diluya o neutralice el derrame antes de su eliminación. Los grandes derrames deben ser neutralizados con productos químicos adecuados e.j. Fosfato Mono Amónico. Recuperar mediante bombeo si es posible. Elimine el producto en los contenedores especiales para residuos. Mantenga el producto en recipientes adecuados, debidamente cerrados y etiquetados.

Amoniaco Anhidro

6.4	Referencia a otras secciones						
	Ver sección 1 para datos de contacto, sección 8 para los equipos de protección personal y sección 13 para la eliminación de residuos						
SECCIÓN 7 Manipulación y almacenamiento							
7.1	Precauciones para una manipulación segura						
	Evitar el contacto con los ojos y con la piel y la inhalación de vapores. Proporcionar una ventilación adecuada. Ver el la sección 8 los valores límites de exposición ocupacional. Usar equipos de protección total cuando exista riesgo de fuga o derrame. Tomar medidas de precaución frente a las descargas estáticas.						
7.2	Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades						
	Los recipientes en el almacén permanecerán cerrados herméticamente en áreas frescas y bien ventiladas. Mantenga los recipientes alejados los focos de calor, ignición y sustancias incompatibles. (Ver sección 10) No está permitido fumar en el área de almacenamiento. Los recipientes, tanques, esferas, etc., para el almacenamiento de Amoniaco Anhidro deberán cumplir las prescripciones de la Instrucción Técnica Complementaria MIE-APQ-004 "Almacenamiento de Amoniaco Anhidro".						
	Materiales de embalaje recomendados	Acero al carbono grano fino (para baja temperatura) y AISI 304L					
7.3	Usos específicos finales						
	Ver sección 1.2 y anexos para los escenarios de exposición.						
Nota : estabilidad y reactividad, ver Sección 10							
SECCIÓN 8 Controles de exposición/protección individual							
8.1	Parámetros de control						
	Valores límite de exposición ocupacional	Componente	CAS				
		Amoniaco anhidro	7664-41-7	VLA-ED (TWA): Exposición de 8 horas: 14 mg/m3 y 20ppm VLA-EC (STEL): Exposición a corto plazo: 36 mg/m3 y 50ppm			
	Derivado del ISQ	DNEL	Trabajador			consumidor	
				sistémico	industrial		profesional
			oral		No aplica	No aplica	6,8 mg / Kg pc / día
			inhalatorio	corto plazo	47,6 mg / m3	47,6 mg / m3	23,8 mg / m3
		dermal	corto plazo largo plazo	6,8 mg / Kg pc / día	6,8 mg / Kg pc / día	68 mg / Kg pc / día	
		PNEC	agua	aire	suelo	microbiológica	
			Agua dulce: 0,0011 mg/l (amoniac libre) Agua de mar: 0,0011 mg/L Fugas intermitentes: 0,089 mg/L	No disponible	No requerido	No requerido	
					No requerido	No requerido	
8.2	Controles de la exposición						
	Controles higiénicos	Proporcionar ventilación por extracción localizada, donde sea adecuado. Proporcionar equipos lavaojos y duchas de seguridad en cualquier lugar donde se pueda producir contacto con los ojos ó la piel.					
	Protección individual						
	Ojos	Usar gafas de seguridad química ó mascara bucofacial homologadas					
	Piel y cuerpo	Usar ropa de protección (EN 14605) y botas, resistentes a agentes químicos.					
	Manos	Siempre que se maneje Amoniaco anhidro se debe usar guantes resistentes a los agentes químicos y al frío que cumplan con la norma EN 374 e.j. > 8 hrs. (Tiempo de rotura) goma butílica, teflón elastómero. > 1 hrs. (Tiempo de rotura) guantes aislados convenientemente para bajas temperaturas.					
	Respiratorio	Si los niveles de exposición exceden o pueden exceder de los límites de exposición recomendados, usar aparatos de respiración adecuados e.j. mascarar bucofaciales equipadas con filtros tipo K, equipo de respiración autónoma...					
	Térmicos	Ver lo indicado en los puntos anteriores.					
	Control de la exposición del medio ambiente	Ver sección 6.					
Los consejos relativos a la protección personal son válidos para altos niveles de exposición.							
Elegir las protecciones personales adaptadas a los riesgos de la exposición.							

Amoniaco Anhidro

SECCIÓN 9		Propiedades físicas y químicas			
9.1		Información sobre propiedades físicas y químicas básicas			
Aspecto	Gas (licuado). Incoloro				
Olor	Característico, acre, sofocante.				
Umbral olfativo	0,6 a 53 ppm, con una media geométrica detectada de 17 ppm.				
pH	11.7 (conc. 1%)				
Punto de fusión/punto de congelación	-77,7°C				
Punto inicial de ebullición e intervalo de ebullición	-33°C a 101.3 kPa.				
Punto de inflamación	No aplica, gas.				
Tasa de evaporación	No aplica, gas.				
Inflamabilidad	Gas inflamable Cat2.				
Límites superior/inferior de inflamabilidad	16-26 % v/v (temperatura y presión ambiente)				
	13-34 % v/v (a 300 °C y presión atmosférica)				
	11-37% v/v (a 400 °C y presión atmosférica)				
Presión de vapor a 20°C	861 kPa .				
Densidad de vapor	Gas: 0.7714g/l (a 0°C, 101.3kPa).				
Densidad del líquido	0.6386g/cm3 (a -33°C, 101,3kPa).				
Solubilidad en agua	Extremadamente soluble, e.j. 510-531g/l a 20°C.				
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	No aplica, gas.				
Temperatura de auto-inflamación	651 °C				
Temperatura de descomposición	450 °C				
Viscosidad	0.00982 cP a 20°C				
Propiedades explosivas	No es explosivo				
Propiedades comburentes	No es comburente				
9.2		Información adicional			
Miscibilidad	Alcohol, Cloroformo, Éter				
Conductividad	1.9 e+007 pS/m				
Grupo de gases	IIA				
SECCIÓN 10		Estabilidad y reactividad			
10.1		Reactividad			
		Estable en condiciones normales.			
10.2		Estabilidad química			
		Térmicamente estable en términos de reacción bajo condiciones de almacenamiento de diseño. El aporte de calor puede causar la vaporización del líquido.			
10.3		Posibilidad de reacciones peligrosas			
		El Amoniaco reacciona violentamente con los hipocloritos, halógenos y mercurio produciendo compuestos inestables que son capaces de explotar. Ataca al cobre, oro, aluminio, cinc, cadmio y sus aleaciones. Reacciona con el mercurio y el óxido de plata para formar compuestos que son sensibles al impacto. El Amoniaco gas puede reaccionar violentamente con los óxidos de nitrógeno y ácidos fuertes.			
10.4		Condiciones que deben evitarse			
		Daños físicos y calentamiento de los recipientes.			
10.5		Materiales incompatibles			
		Halógenos, ácido nítrico, hipocloritos, plata, mercurio, cobre, oro, aluminio, cinc, cadmio, plomo, óxidos de nitrógeno, ácidos fuertes y sustancias generadoras de ácidos.			
10.6		Productos de descomposición peligrosos			
		Hidrógeno, óxidos de nitrógeno.			
SECCIÓN 11		Información toxicológica			
11.1		Información sobre los efectos toxicológicos			
		Toxicidad aguda			
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniaco anhidro	7664-41-7	OECD 401	rata rata rata	oral cutánea respiratoria	No es un valor relevante por tratarse de un gas. DL50: 350 mg / Kg pc. Para una solución amoniacal. DL50: No disponible al tratarse de un corrosivo para la piel. CL50: rata macho y hembra entre 10 y 60 min: 28130 - 11590 mg/m3. Muy tóxico por inhalación.
		Corrosión o irritación cutáneas			
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniaco anhidro	7664-41-7		Humano	cutánea respiratoria	Corrosivo según directiva 67/548/CEE y reglamento CLP. Irritante.
		Lesiones oculares graves o irritación ocular			
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniaco anhidro	7664-41-7				Muy irritante. Por ser corrosivo para la piel.
		Sensibilización respiratoria o cutánea			
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniaco anhidro	7664-41-7			cutánea respiratoria	No sensibilizante. No sensibilizante.
		Mutagenicidad en células germinales			
Componente	Nº CAS	Método	Especies		Resultado
Amoniaco anhidro	7664-41-7	OECD 471 OECD 474	bacterias células de mamífero		Negativo. No mutagénico. Negativo. No mutagénico.
		Carcinogenicidad			
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniaco anhidro	7664-41-7	OECD 453	rata	oral respiratoria cutánea otras rutas	NOAEL: 67 mg/kg pc/d. No cancerígena. Los datos correspondientes a las vías respiratorias, cutáneas y otras, no están disponibles; la carcinogénesis de la sustancia ha sido investigado por vía oral.

Amoniac Anhidro

Toxicidad para la reproducción					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniac anhidro	7664-41-7	OECD 422	rata	oral oral respiratoria	-Efectos sobre la fertilidad: NOAEL: 408 mg/kg pc/d. No tóxico. -Toxicidad para el desarrollo: NOAEL: 100 mg/kg pc/d NOAEC: 25 mg/m3
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniac anhidro	7664-41-7				Datos concluyentes, pero no suficientes para la clasificación (no clasificado)
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición repetida					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniac anhidro	7664-41-7				Datos concluyentes, pero no suficientes para la clasificación (no clasificado) ; Dosis de efecto oral sub-aguda: 68 mg/kg pc/d; Dosis inhalatoria sub-crónica: 63mg/m3
Peligro por aspiración					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Amoniac anhidro	7664-41-7				Datos concluyentes, pero no suficientes para la clasificación (No clasificado)
SECCIÓN 12 Información ecológica					
12.1 Toxicidad					
Toxicidad acuática					
Componente	Nº CAS		Peces (Oncorhynchus mykiss)	Crustáceos (Daphnia magna)	Algas (Chlorella vulgaris)
Amoniac anhidro	7664-41-7	Corto plazo	CL50(96h) = 0,89 mg/l de amoniac no ionizado.	CL50 (48h) = 101 mg/l	CL50 (18 días) = 2700 mg/l
		Largo plazo	LOEC(73días) = 0,022 mg/l	NOEC (96h) = 0,79 mg/l de amoniac no ionizado	No disponible
Toxicidad Terrestre					
Componente	Nº CAS	Macroorganismos	Microorganismos	Otros organismos	
Amoniac anhidro	7664-41-7	No tóxico	No tóxico	No requerido	
Actividad microbiológica en plantas de tratamiento de aguas residuales					
Componente	Nº CAS	Toxicidad a microorganismos acuáticos			
Amoniac anhidro	7664-41-7	No requerido			
12.2 Persistencia y degradabilidad					
Componente	Nº CAS				
Amoniac anhidro	7664-41-7	No se considera persistente y presenta una biodegradabilidad rápida en sistemas acuáticos. En entornos abióticos, las algas acuáticas y macrofitos asimilan el amoniac para usarlo como fuente de nitrógeno.			
12.3 Potencial de bioacumulación					
Componente	Nº CAS	Coefficiente de reparto octanol-agua (Kow)	Factor de bioconcentración (BCF)	Observaciones	
Amoniac anhidro	7664-41-7	No aplica. Sustancia inorgánica.	-	No cabe esperar que amoniac se bioacumule. Es un producto del metabolismo normal.	
12.4 Movilidad en el suelo					
Componente	Nº CAS	Resultado			
Amoniac anhidro	7664-41-7	Se espera poca movilidad en la tierra debido a la fuerte adsorción de los iones de amonio a los minerales de arcilla y a la oxidación bacteriana a nitratos. El amoniac en la tierra se encuentra en equilibrio dinámico con los nitratos y otros sustratos en el ciclo del nitrógeno.			
12.5 Resultados de la valoración PBT/mPmB					
No se requiere. Sustancia inorgánica.					
12.6 Otros efectos adversos					
No hay más información.					

Amoniaco Anhidro

SECCIÓN 13	Consideraciones relativas a la eliminación
13.1	Métodos para el tratamiento de residuos
	Dependiendo del grado de contaminación, eliminar como fertilizante o en una instalación de residuos autorizada. Aplicar la legislación local o nacional para su eliminación.

SECCIÓN 14	Información relativa al transporte
-------------------	---

14.1 - 14.6	Información Reglamentaria	Número ONU	Nombre propio del transporte	Clase	Grupo de embalaje	Etiqueta	Peligros para el medio ambiente	Precauciones particulares para los usuarios
	ADR/RID	1005	AMONIACO, ANHIDRO	2	No aplica	 2.3 8 13 (RID)	 Materia peligrosa para el medio ambiente	Número de Identificación de Peligro 268 Ver ADR/RID
	ADN	1005	AMONIACO, ANHIDRO	2	No aplica	 2.3 8	 Materia peligrosa para el medio ambiente	Ver ADN
	IMDG	1005	AMONIACO, ANHIDRO	2.3	No aplica	 2.3 8	 Materia peligrosa para el medio ambiente	Ver IMDG procedimientos de emergencia (FEm).
	OACI	1005	AMONIACO, ANHIDRO	2.3	No aplica	 2.3 8	 Materia peligrosa para el medio ambiente	Ver regulación OACI para limitación de cantidades

14.7	<i>Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y el Código IBC: No aplica.</i>
-------------	--

Código IGC: Columna c (Tipo de barco): 2G/2PG./ | Columna d y e: No aplica. | Columna f (Detección de vapor): T. | Columna g (Aforo): C. | Columna h (MFAG Nº): 725. |

SECCIÓN 15	información reglamentaria
-------------------	----------------------------------

15.1	Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla
-------------	---

Reglamento 2003/2003 (fertilizantes)
 Reglamento 1907/2006 (REACH)
 Reglamento 1272/2008 (CLP)
 Directiva 18/2012; R.D. 840/2015 (Seveso)
 MIE-APQ 004 (Almacenamiento de amoniaco anhidro)
 R.D. 145/1989 (Admisión de materias peligrosas en los puertos)
 R.D. 374/2001 (Agentes químicos)
 R.D. 506/2013 (fertilizantes)

15.2	Evaluación de la seguridad química
-------------	---

Evaluación de la Seguridad Química llevada a cabo para el Amoniaco anhidro

Amoníaco Anhidro

SECCIÓN 16 Otra información	
Indicaciones de peligro	<p>H221: Gas inflamable H280: Contiene gas a presión; peligro de explosión en caso de calentamiento H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves H331: Tóxico en caso de inhalación H400: Muy tóxico para los organismos acuáticos H411: Tóxico para los organismos acuáticos, con efectos duraderos EUH071: Corrosivo para las vías respiratorias</p>
Consejos de prudencia	<p>P102 -Mantener fuera del alcance de los niños. P210 -Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar. P260 -No respirar los vapores. P264 -Lavarse las manos concienzudamente tras la manipulación. P271 -Utilizar únicamente en exteriores o en un lugar bien ventilado. P273 -Evitar su liberación al medio ambiente. P280 -Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección. P301+P330+P331 -EN CASO DE INGESTIÓN: enjuagarse la boca. NO provocar el vómito. P303+P361+P353 -EN CASO DE CONTACTO CON LA PIEL (o el pelo): Quitarse inmediatamente las prendas contaminadas. Aclararse la piel con agua o ducharse. P304+P340 -EN CASO DE INHALACIÓN: Transportar a la víctima al exterior y mantenerla en reposo en una posición confortable para respirar. P305+P351+P338+P310 -EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. Llamar inmediatamente a un CENTRO de información toxicológica o a un médico. P363 -Lavar las prendas contaminadas antes de volverlas a utilizar. P377 -Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. P381 -Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo. P391 -Recoger el vertido. P403+P233 -Almacenar en un lugar bien ventilado. Mantener el recipiente cerrado herméticamente. P405 -Guardar bajo llave. P410 -Proteger de la luz del sol. P501 -Eliminar el contenido/el recipiente por gestor autorizado.</p>
Referencias bibliográficas y fuentes de datos	Evaluación sobre la seguridad química de Amoníaco anhidro. Documentos Guía EFMA/FERTILIZER EUROPE; Datos de TFI HPV; NOTOX
Abreviaturas y acrónimos	<p>VLA-ED: Valor límite ambiental (exposición diaria) VLA-EC: Valor límite ambiental (corta duración) NOAEL: Dosis sin efectos adversos observados DL50: Dosis letal 50% CL50: Concentración letal 50% DNEL: Concentración sin efecto derivado PNEC: Concentración prevista sin efectos LOEC: Concentración más baja de efectos observados NOEC: Concentración de efectos no observados NOAEC: Concentración de efectos adversos no observados</p>
Formación adecuada para los trabajadores	Formación obligatoria en materia de prevención de riesgos laborales
Fecha de la anterior FDS	Versión 5 de fecha 22/05/2017
Modificaciones introducidas en la revisión actual	Actualización de escenarios de exposición
Se adjuntan como anexos I, II, III, IV, V y VI los escenarios de exposición	
<p>La información contenida en esta Ficha de Datos de Seguridad se da de buena fe y creyendo en su exactitud, en base al conocimiento que se dispone sobre el producto en el momento de su publicación. No implica la aceptación de ningún compromiso ni responsabilidad legal por parte de la Compañía por las consecuencias de su utilización o su mala utilización en cualesquiera circunstancias particulares.</p>	

Ficha de Datos de Seguridad

De acuerdo con el Reglamento (UE) N° 830/2015 de la Comisión

Fecha de edición 31/05/2016
 Edición 4
 Fecha de revisión 14/08/2017
 Revisión 5

Nitrato amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

SECCIÓN 1 Identificación de la sustancia o de la mezcla y de la sociedad o la empresa	
1.1	Identificador del producto
	<p>Nombre comercial del producto Licor de nitrato amónico</p> <p>Nombre químico Mezcla, principal ingrediente Nitrato amónico</p> <p>Sinónimos Solución de nitrato amónico entre 80 y 93%, Nitrato amónico líquido.</p> <p>Formula química Mezcla, principal ingrediente NH4NO3</p> <p>Número de índice EU (Anexo 1) No aplica</p> <p>CE No No aplica</p> <p>CAS No. No aplica</p> <p>REACH o Número nacional de registro del producto No aplica</p>
1.2	Usos pertinentes identificados de la sustancia o de la mezcla y usos desaconsejados
	<p>Usos identificados Para fabricación de fertilizantes, como sustancia intermedia para la síntesis de otras sustancias.</p> <p>Usos desaconsejados Ninguno</p>
1.3	Datos del proveedor de la ficha de datos de seguridad
	<p>Nombre de la compañía FERTIBERIA. S.A.</p> <p>Dirección de la compañía Paseo de la Castellana, 259 D. Plantas 47 y 48 - 28046 Madrid</p> <p>Teléfono de la compañía Central: 91.586.62.00; Fábrica de Avilés: 985-57.78.50; Fábrica de Puertollano: 926.44.93.00; Fábrica de Sagunto: 962.69.90.04</p> <p>e-mail de la compañía para FDS reachfertiberia@fertiberia.es</p>
1.4	Teléfono de emergencia
	Fábrica de Avilés: 985-57.78.50; Fábrica de Puertollano: 926.44.93.00; Fábrica de Sagunto: 962.69.90.04

SECCIÓN 2 Identificación de los peligros									
2.1	Clasificación de la sustancia o de la mezcla*								
	De acuerdo con el Reglamento CE 1272/2008 [CLP] Sólido Comburente. Cat3; H272 Irritación Ocular. Cat2.; H319								
2.2	Elementos de la etiqueta								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Pictogramas</th> <th>Palabra de advertencia</th> <th>Indicaciones de peligro</th> <th>Consejos de Prudencia</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td>Atención</td> <td>H272 H319</td> <td>P210 P220 P280 P305+P351+P338 P337 + P313</td> </tr> </tbody> </table>	Pictogramas	Palabra de advertencia	Indicaciones de peligro	Consejos de Prudencia		Atención	H272 H319	P210 P220 P280 P305+P351+P338 P337 + P313
Pictogramas	Palabra de advertencia	Indicaciones de peligro	Consejos de Prudencia						
	Atención	H272 H319	P210 P220 P280 P305+P351+P338 P337 + P313						
2.3	Otros peligros								
	<p>Criterio PBT/mPmB De acuerdo con el anexo XIII del Reglamento (CE) n° 1907/2006, no es PBT ni mPmB por ser sustancia inorgánica.</p> <p>Otros peligros que no implican la clasificación del producto</p> <p>Peligros físicos y químicos Cuando son fuertemente calentados pueden llegar a su descomposición, liberando humos tóxicos que contienen óxidos de nitrógeno y amoníaco. Calentado bajo fuerte confinamiento puede conducir a un comportamiento explosivo. Estas soluciones son peligrosas porque tienen alta temperatura y porque pueden atacar la piel en respuesta a sus propiedades químicas. Contacto con la piel: Las salpicaduras calientes pueden producir severas quemaduras. Contacto con los ojos: Las salpicaduras calientes causan quemaduras en los ojos y pueden producir daños permanentes en los mismos. Ingestión: La ingestión es improbable a causa de la alta temperatura del producto. Sin embargo, en pequeñas cantidades de NA, es improbable que causen efectos tóxicos. En grandes cantidades, puede provocar desordenes en el tracto gastro-intestinal y en casos extremos puede ocurrir formación de metahemoglobina (síndrome del niño azul) y cianosis (indicada por coloración azulada alrededor de la boca).</p> <p>Peligros para la salud Inhalación: Las nieblas y bajas concentraciones de amoníaco desprendidas de la solución caliente pueden causar irritación en los ojos, nariz, garganta y tracto superior respiratorio. Efectos a largo plazo: No son conocidos. Otros: Fuego y calentamiento: La inhalación de gases de descomposición que contienen óxidos de Nitrógeno y amoníaco, pueden causar irritación y efectos corrosivos en el sistema respiratorio. Estos gases pueden causar edema pulmonar con efectos retardado.</p> <p>Peligros para el medio ambiente El Nitrato Amónico es un producto nitrogenado. Los grandes derrames pueden causar impactos adversos en el medio ambiente como la eutrofización (desarrollo indeseado de la flora) en las aguas superficiales confinadas o contaminación por nitratos. (Ver SECCIÓN 12).</p>								

* Para conocer el significado completo de los indicaciones de peligro (H): ver SECCIÓN 16

SECCIÓN 3 Composición/información sobre los componentes								
3.2	Nombre	% (p/p)	N° CAS	IUPAC	N° índice R.1272/2008	N° Registro REACH	Clasificación Rgto. 1272/2008	Límites de concentración específicos
	Nitrato amónico	>80% y ≤93%	6484-52-2	ammonium nitrate	----	01-2119490981-27-0028	Oxid. Solid 3 Eye Irrit. 2	
	Agua	<20% y ≥7%	7732-18-5			No requiere	No clasifica	

Nitrito amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

SECCIÓN 4		Primeros auxilios
4.1	Descripción de los primeros auxilios	
	General	Buscar atención médica cuando sea necesario. Administrar oxígeno, especialmente si hay color azul alrededor de la boca.
	Inhalación	La inhalación de la solución caliente no es posible, sin embargo si se inhalan vapores tóxicos: -Retirar a la persona del foco de exposición. -Obtener atención médica si se producen efectos nocivos.
	Ingestión	Es improbable al tratarse de un producto caliente. No provocar el vómito. Enjuagar la boca y dar de beber agua o leche. Obtener atención médica si se ha ingerido más que una pequeña cantidad.
	Contacto con la piel	Si es posible, sumergir el área afectada por la quemadura, en agua fría o en una bolsa con hielo. Lavar la zona afectada con abundante agua y jabón. No retirar la ropa contaminada sin asegurar que no está adherida a la piel.
	Contacto con los ojos	Lavar o irrigar los ojos con agua en abundancia durante al menos 15 minutos, incluso detrás de los párpados. Extraer las lentillas si las lleva y es fácil hacerlo. Obtener atención médica si persiste la irritación ocular.
4.2	Principales síntomas y efectos, agudos y retardados	
		Graves quemaduras térmicas Irritación de ojos. Algunos efectos sobre el pulmón pueden ser retardados.
4.3	Indicación de toda atención médica y de los tratamientos especiales que deban dispensarse inmediatamente	
		La inhalación de los gases procedentes de un fuego ó descomposición térmica, que contienen óxidos de nitrógeno y amoníaco, puede causar irritación y efectos corrosivos en el sistema respiratorio. Administrar oxígeno, especialmente si hay color azul (metahemoglobina) alrededor de la boca.
SECCIÓN 5		Medidas de lucha contra incendios
5.1	Medios de extinción	
	Medios de extinción adecuados	Agua.
	Medios de extinción que no deben usarse	No utilice extintores químicos o de espuma ni intente sofocar el fuego con arena o vapor.
5.2	Peligros específicos derivados de la sustancia o la mezcla	
	Peligros especiales	No es combustible. Si se encuentra involucrado en un incendio, lo agravará al ser comburente, pudiendo mantener el incendio aún en ausencia de aire. Existe el riesgo potencial de explosión durante un incendio cuando el producto se encuentra fuertemente confinado y/o contaminado con materiales incompatibles (e.j. materia orgánica, compuestos halogenados - véase la SECCIÓN 10) No permita que el nitrito amónico fundido se introduzca en los desagües.
	Peligros de la descomposición térmica y productos de la combustión	Óxidos de nitrógeno y amoníaco
5.3	Recomendaciones para el personal de lucha contra incendios	
	Métodos específicos de lucha contra incendios	Abrir puertas y ventanas del recinto para dar la máxima ventilación. Evite respirar los humos (tóxicos). Ponerse a favor del viento en relación al fuego. Evitar cualquier contaminación de la solución por aceites u otros materiales combustibles. Enfriar los equipos/contenedores expuestos al calor con agua pulverizada.
	Protección especial en la lucha contra incendios	Use un aparato de respiración autónomo en caso de existencia de humos.
SECCIÓN 6		Medidas en caso de vertido accidental
6.1	Precauciones personales, equipos de protección y procedimientos de emergencia	
		Evite caminar a través de producto derramado y la exposición a los humos.
6.2	Precauciones relativas al medio ambiente	
		Tenga cuidado de evitar la contaminación de los cursos de agua y los desagües e informe a las autoridades competentes en caso de contaminación accidental de los cursos de agua.
6.3	Métodos y material de contención y de limpieza	
		Lavar los pequeños derrames con grandes cantidades de agua. La contención de grandes derrames se realizará con arena o tierra, o se evacuará por bombeo si es posible y seguro hacerlo así. Dejar que el producto solidifique y posteriormente recogerlo. Colocar el material solidificado en contenedores adecuados para reciclar o eliminar como residuo. Evitar que el producto derramado se mezcle con materiales combustibles ó materia orgánica.
6.4	Referencia a otras secciones	
		Ver SECCIÓN 1 para datos de contacto, 8 para los equipos de protección personal y SECCIÓN 13 para la eliminación de residuos
SECCIÓN 7		Manipulación y almacenamiento
7.1	Precauciones para una manipulación segura	
		Evitar la contaminación por materias combustibles (e.j. gas-oil, grasas, etc.) y otros materiales incompatibles. Limpiar cuidadosamente las instalaciones antes de realizar operaciones de mantenimiento o reparación.
7.2	Condiciones de almacenamiento seguro, incluidas posibles incompatibilidades	
		Almacenar cumpliendo la regulación ITC-MIE-APQ06 Situar lejos de fuentes de calor y de llamas. Mantenerlo siempre lejos de materiales combustibles y sustancias mencionadas en la SECCIÓN 10. No permitir fumar ni el uso de lámparas portátiles desnudas en el área de almacenamiento. Proteger los tanques de la corrosión y peligros físicos. Mantener el producto por encima de la temperatura de fusión para evitar su cristalización, sin superar en ningún caso los 150°C. En el transporte (ADR, IMDG) no superar los 140°. El pH del producto debe mantenerse por encima de 4.5 (solución al 10%).
	Materiales de embalaje recomendados y no recomendados	Los materiales apropiados para los recipientes son: acero inoxidable (AISI 304L) y aleaciones de aluminio. No utilizar metales comunes, cinc y sus aleaciones, cobre y sus aleaciones. Usar material de aislamiento de naturaleza mineral.
7.3	Usos específicos finales	
		Ver SECCIÓN 1.2 y anexos para los escenarios de exposición.
<i>Nota : estabilidad y reactividad, ver SECCIÓN 10</i>		

Nitrito amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

SECCIÓN 8		Controles de exposición/protección individual					
8.1		Parámetros de control					
Valores límite de exposición	Componente	CAS					
		Nitrato amónico	6484-52-2				No establecido.
	Derivado del ISQ	DNEL	Trabajador				consumidor
				sistémico	industrial	profesional	
			oral	largo plazo	No aplica	No aplica	12.8 mg/kg pc/día
			inhalatorio	largo plazo	37.6 mg/m ³	37.6 mg/m ³	11.1 mg/m ³
dermal	largo plazo	21,3 mg / Kg pc / día	21,3 mg / Kg pc / día	12.8 mg/kg pc/día			
PNEC	agua		aire	suelo	microbiológica	sedimento	oral
	agua dulce: 0,45 mg/l agua salada: 0,045 mg/l en liberaciones intermitentes: 4,5 mg/l		No disponible	Insuficientes datos disponibles	18 mg/l	Insuficientes datos disponibles	Bajo potencial de bioacumulación
8.2		Controles de la exposición					
Controles higiénicos		Protéjase de las quemaduras térmicas.					
Protección individual							
Ojos		Utilizar gafas de seguridad química panorámicas (monogafas) o preferiblemente pantalla facial.					
Piel y cuerpo		Utilizar ropa resistente y botas de seguridad.					
Manos		Usar guantes resistentes al calor e impermeables.					
Respiratorio		Para protegerse contra los humos, utilizar mascarar buco faciales con filtros para amoniaco y óxidos de nitrógeno o equipos de respiración autónoma o semiautónoma.					
Térmicos		Ver puntos anteriores.					
Control de la exposición del medio ambiente		Ver SECCIÓN 6.					
<p><i>Los consejos relativos a la protección personal son válidos para altos niveles de exposición.</i></p> <p><i>Elegir las protecciones personales adaptadas a los riesgos de la exposición.</i></p>							

SECCIÓN 9		Propiedades físicas y químicas					
9.1		Información sobre propiedades físicas y químicas básicas					
Aspecto	Líquido						
Color	Incoloro cuando está libre de cristales.						
Olor	A amoniaco débil.						
Peso molecular	No aplica						
pH	pH solución acuosa (100g/l) > 4.5.						
Punto de ebullición	NITRATO AMÓNICO (%)	80	82.5	85	87.5	90	92.5
	Temperatura de ebullición atmosférica, (°C)	128	132	136	140	146	155
Punto de fusión	NITRATO AMÓNICO (%)	80	82.5	85	87.5	90	92.5
	Temperatura de cristalización, (°C)	57	65	75	85	96	108
Punto de inflamación	No inflamable						
Inflamabilidad	No inflamable						
Propiedades explosivas	El nitrato amónico líquido (UN2426) no está clasificado como explosivo.						
Temperatura de autoinflamación	No inflamable						
Temperatura de descomposición	Comienza a descomponer por encima de 170°C						
Límite inferior de explosividad	No aplica						
Límite superior de explosividad	No aplica						
Propiedades comburentes	UN2426: Clasificación para el transporte: Clase 5.1; Sin GE.						
Densidad	NITRATO AMÓNICO (%)	90	91	92	93		
	Temperatura °C	100	100	140	140		
	Densidad g/cm ³	1.39	1.41	1.39	1.42		
Presión de vapor	Presión de vapor a 100°C: 39.6kPa (80%); 22.6kPa (89.9%).						
Densidad del vapor	no aplica						
Coefficiente de reparto n-octanol/agua	no aplica						
Viscosidad	no aplica						
Solubilidad en agua	Nitrito amónico puro: 1920 g/l a 20 °C						
9.2		Otros datos					
		Peso Molecular 80 para el principal ingrediente (nitrito amónico)					

Nitrito amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

SECCIÓN 10		Estabilidad y reactividad
10.1	Reactividad	Estable bajo condiciones normales de almacenamiento, manipulación y uso (ver sec. 7)
10.2	Estabilidad química	Estable bajo condiciones normales de almacenamiento, manipulación y uso (ver sec. 7)
10.3	Posibilidad de reacciones peligrosas	Cuando se calienta por encima de 150°C se descompone desprendiendo NOx y Amoniaco. Contaminación con materiales incompatibles.
10.4	Condiciones que deben evitarse	Condiciones ácidas. La cristalización. Incrementar la concentración por encima del 93%. Proximidad a fuentes de calor o fuego. Contaminación por materiales incompatibles. Calentamiento bajo confinamiento. Trabajos de soldadura o térmicos en los equipos o plantas que puedan contener restos de solución de nitrato amónico, sin que se hayan lavado completamente para eliminar los restos de producto.
10.5	Materiales incompatibles	Materiales combustibles, agentes reductores, ácidos, álcalis, azufre, cloratos, cloruros, cromatos, nitritos, permanganatos, polvos metálicos y las sustancias que contienen metales como cobre, níquel, cobalto, zinc y sus aleaciones.
10.6	Productos de descomposición peligrosos	En caso de incendio: ver SECCIÓN 5 Cuando es fuertemente calentado se descompone, liberando gases tóxicos (e.j. NOx, amoniaco). Cuando está en contacto con materiales alcalinos, como la cal, puede producir gases amoniacales. Cuando está en contacto con ácidos fuertes puede producir NOx.

SECCIÓN 11		Información toxicológica			
11.1	Información sobre los efectos toxicológicos				
Toxicidad aguda					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Nitrato amónico	6484-52-2	OECD 401 OECD 402	rata rata rata	oral cutánea respiratoria	DL50: 2950 mg / Kg pc. DL50: >5000 mg / Kg pc. CL50: >88,8 mg/m3.
Corrosión o irritación cutánea					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Nitrato amónico	6484-52-2	OECD 404	Conejo	cutánea	No irritante.
Lesiones oculares graves o irritación ocular					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Nitrato amónico	6484-52-2	OECD 405	Conejo	ocular	Irritante.
Sensibilización respiratoria o cutánea					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Nitrato amónico	6484-52-2	OECD 429	ratón	cutánea	No sensibilizante.
Mutagenicidad en células germinales					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Resultado	
Nitrato amónico	6484-52-2	OECD 471 OECD 473 OECD 476	bacterias aberración cromosómica mutación en células de mamífero	Negativo. No mutagénico. Test de Ames. Negativo. No mutagénico. Negativo. No mutagénico.	
Carcinogenicidad					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Nitrato amónico	6484-52-2		rata	Todas	No cancerígeno.
Toxicidad para la reproducción					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Nitrato amónico	6484-52-2	OECD 422	rata	oral	-Efectos sobre la fertilidad: NOAEL: ≥1500 mg/kg pc/d. -Toxicidad para el desarrollo: NOAEL: ≥1500 mg/kg pc/d
Toxicidad específica en determinados órganos (STOT) - exposición única y repetida					
Componente	Nº CAS	Método	Especies	Vía	Resultado
Nitrato amónico	6484-52-2	OECD 422 OECD 453	rata rata rata	oral (28 días) oral (52 sem.) oral (13 sem.) Inhalatoria (2 s.)	Vía oral subaguda. NOAEL: ≥ 1500 mg/kg peso corporal/día. Vía oral crónica. NOAEL: 256 mg/kg peso corporal/día. Vía oral subcrónica. NOAEL: 886 mg/kg peso corporal/día. Vía inhalatoria. NOAEC (sistémico): ≥ 185 mg/m3
Peligro de aspiración	No se conocen efectos significativos o peligros críticos				

Nitrito amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

SECCIÓN 12		Información ecológica						
12.1		Toxicidad						
		Toxicidad acuática						
Componente	Nº CAS		Peces (Cyprinus carpio)	Crustáceos	Algas (benthic diatoms)			
Nitrito amónico	6484-52-2	Corto plazo	CL50(48h) = 447 mg/l.	CE50/CL50 (48h) = 490 mg/l (de nitrito potásico) (Daphnia magna)	CL50/CE50 (10 días) > 1700 mg/l (de nitrito potásico)			
		Largo plazo	No necesario.	NOEC (168h) = 555 mg/l (Bullia digitalis)	No disponible			
		Toxicidad Terrestre						
Componente	Nº CAS	Macroorganismos	Microorganismos	Plantas terrestres	Otros organismos			
Nitrito amónico	6484-52-2	Científicamente no justificado	Científicamente no justificado	Científicamente no justificado	No disponible			
		Actividad microbiológica en plantas de tratamiento de aguas residuales						
Componente	Nº CAS	Toxicidad a microorganismos acuáticos						
Nitrito amónico	6484-52-2	EC50/LC50 (180 min) >1000 mg/l (de nitrito sódico)						
12.2		Persistencia y degradabilidad						
Componente	Nº CAS	Degradación						
Nitrito amónico	6484-52-2	Hidrólisis	No hidrolizable. Ensayo no necesario.					
		Fotólisis	No hay información disponible					
		Biodegradación	No necesario, sustancia inorgánica.					
12.3		Potencial de bioacumulación						
Componente	Nº CAS	Coefficiente de reparto octanol-agua (Kow)	Factor de bioconcentración (BCF)	Observaciones				
Nitrito amónico	6484-52-2	No aplica. Sustancia inorgánica.	-					
12.4		Movilidad en el suelo						
Componente	Nº CAS	Resultado						
Nitrito amónico	6484-52-2	Bajo potencial de absorción (basado en sus propiedades)						
12.5		Resultados de la valoración PBT y mPmB						
		No se requiere. Sustancia inorgánica. Ver anexo XIII del REACH.						
12.6		Otros efectos adversos						
		No hay más información.						
SECCIÓN 13		Consideraciones relativas a la eliminación						
13.1		Métodos para el tratamiento de residuos						
		Dependiendo del grado y de la naturaleza de la contaminación, una vez solidificado y frío, elimínalo como fertilizante sobre el campo, como materia prima para fertilizante líquido o en una instalación de residuos autorizada. No tirar los residuos por el desagüe; eliminar los residuos del producto y sus recipientes en forma segura. Eliminar de acuerdo con todas las reglamentaciones locales y nacionales.						
SECCIÓN 14		Información relativa al transporte						
14.1 - 14.6	Información Reglamentaria	Número ONU	Nombre propio del transporte	Clase	Grupo de embalaje	Etiqueta	Peligros para el medio ambiente	Precauciones particulares para los usuarios
	ADR/RID ADNR IMDG IATA	UN 2426	NITRATO AMÓNICO LÍQUIDO, en solución concentrada caliente a más del 80% pero como máximo al 93%.	5,1			NO	Número de identificación de peligro: 59 Ver ADR y RID Prohibido a granel. Procedimientos de Emergencia (FEm): F-H, S-Q Ver regulación OACI para limitación de cantidades
14.7	Transporte a granel con arreglo al anexo II del Convenio MARPOL y del Código IBC: No aplica							

Nitrito amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

SECCIÓN 15 Información reglamentaria															
15.1	Reglamentación y legislación en materia de seguridad, salud y medio ambiente específicas para la sustancia o la mezcla														
	Reglamento 1907/2006 (REACH). Entrada 58 del anexo XVII. Reglamento 1272/2008 (CLP) Directiva 18/2012 (Directiva Seveso) R.D. 840/2015 (Seveso) R.D. 374/2001 (Agentes químicos) R.D. 145/1989: Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Materias Peligrosas en los puertos. R.D. 656/2017. APQ.														
15.2	Evaluación de la seguridad química														
	Evaluación de la Seguridad Química llevada a cabo para el Nitrito amónico como sustancia.														
SECCIÓN 16 Otra información															
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Indicaciones de peligro</td> <td>H272: Puede agravar un incendio; comburente. H319: Provoca irritación ocular grave.</td> </tr> <tr> <td>Consejos de prudencia</td> <td> P102: Mantener fuera del alcance de los niños. P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar. P220: Mantener o almacenar alejado de la ropa paja, aceites... y materiales combustibles. P264: Lavarse las manos concienzudamente tras la manipulación. P280: Llevar gafas de protección. P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. P337+P313: Si persiste la irritación ocular: consultar a un médico. P370+P378: En caso de incendio: Utilizar agua para apagarlo. </td> </tr> <tr> <td>Referencias bibliográficas y fuentes de datos</td> <td>Evaluación sobre la seguridad química del Nitrito amónico; Documentos Guía EFMA/FERTILIZER EUROPE; Datos de TFI HPV; NOTOX</td> </tr> <tr> <td>Abreviaturas y acrónimos</td> <td> VLA-ED: Valor límite ambiental (exposición diaria) VLA-EC: Valor límite ambiental (corta duración) NOAEL: Dosis sin efectos adversos observados DL50: Dosis letal 50% CL50: Concentración letal 50% CE50: Concentración efectiva 50% DNEL: Concentración sin efecto derivado PNEC: Concentración prevista sin efectos LOEC: Concentración más baja de efectos observados NOEC: Concentración de efectos no observados NOAEC: Concentración de efectos adversos no observados </td> </tr> <tr> <td>Formación adecuada para los trabajadores</td> <td>Formación obligatoria en materia de prevención de riesgos laborales</td> </tr> <tr> <td>Fecha de la anterior FDS</td> <td>Versión 4 de fecha 31/05/2016</td> </tr> <tr> <td>Modificaciones introducidas en la revisión actual</td> <td>9.1 y 15.1</td> </tr> </table>	Indicaciones de peligro	H272: Puede agravar un incendio; comburente. H319: Provoca irritación ocular grave.	Consejos de prudencia	P102: Mantener fuera del alcance de los niños. P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar. P220: Mantener o almacenar alejado de la ropa paja, aceites... y materiales combustibles. P264: Lavarse las manos concienzudamente tras la manipulación. P280: Llevar gafas de protección. P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. P337+P313: Si persiste la irritación ocular: consultar a un médico. P370+P378: En caso de incendio: Utilizar agua para apagarlo.	Referencias bibliográficas y fuentes de datos	Evaluación sobre la seguridad química del Nitrito amónico; Documentos Guía EFMA/FERTILIZER EUROPE; Datos de TFI HPV; NOTOX	Abreviaturas y acrónimos	VLA-ED: Valor límite ambiental (exposición diaria) VLA-EC: Valor límite ambiental (corta duración) NOAEL: Dosis sin efectos adversos observados DL50: Dosis letal 50% CL50: Concentración letal 50% CE50: Concentración efectiva 50% DNEL: Concentración sin efecto derivado PNEC: Concentración prevista sin efectos LOEC: Concentración más baja de efectos observados NOEC: Concentración de efectos no observados NOAEC: Concentración de efectos adversos no observados	Formación adecuada para los trabajadores	Formación obligatoria en materia de prevención de riesgos laborales	Fecha de la anterior FDS	Versión 4 de fecha 31/05/2016	Modificaciones introducidas en la revisión actual	9.1 y 15.1
Indicaciones de peligro	H272: Puede agravar un incendio; comburente. H319: Provoca irritación ocular grave.														
Consejos de prudencia	P102: Mantener fuera del alcance de los niños. P210: Mantener alejado de fuentes de calor, chispas, llama abierta o superficies calientes. No fumar. P220: Mantener o almacenar alejado de la ropa paja, aceites... y materiales combustibles. P264: Lavarse las manos concienzudamente tras la manipulación. P280: Llevar gafas de protección. P305+P351+P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. P337+P313: Si persiste la irritación ocular: consultar a un médico. P370+P378: En caso de incendio: Utilizar agua para apagarlo.														
Referencias bibliográficas y fuentes de datos	Evaluación sobre la seguridad química del Nitrito amónico; Documentos Guía EFMA/FERTILIZER EUROPE; Datos de TFI HPV; NOTOX														
Abreviaturas y acrónimos	VLA-ED: Valor límite ambiental (exposición diaria) VLA-EC: Valor límite ambiental (corta duración) NOAEL: Dosis sin efectos adversos observados DL50: Dosis letal 50% CL50: Concentración letal 50% CE50: Concentración efectiva 50% DNEL: Concentración sin efecto derivado PNEC: Concentración prevista sin efectos LOEC: Concentración más baja de efectos observados NOEC: Concentración de efectos no observados NOAEC: Concentración de efectos adversos no observados														
Formación adecuada para los trabajadores	Formación obligatoria en materia de prevención de riesgos laborales														
Fecha de la anterior FDS	Versión 4 de fecha 31/05/2016														
Modificaciones introducidas en la revisión actual	9.1 y 15.1														
Se adjuntan escenarios de exposición 1, 2, 3 y 4															
La información contenida en esta Ficha de Datos de Seguridad se da de buena fe y creyendo en su exactitud, en base al conocimiento que se dispone sobre el producto en el momento de su publicación. No implica la aceptación de ningún compromiso ni responsabilidad legal por parte de la Compañía por las consecuencias de su utilización o su mala utilización en cualesquiera circunstancias particulares.															

Nitrito amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 1

1	Título del Escenario de Exposición (ES)																		
	Fabricación del nitrato amónico																		
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición																		
	<p>Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 1</p> <p>SU 8/9 * PROC 1/2/3/8a/8b/9/14/15 ERC 1</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)</p> <p>1. Fabricación de sustancias (ERC 1)</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC)</p> <p>*1. Uso en procesos cerrados, exposición improbable (PROC 1) 2. Utilización en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada (PROC 2) 3. Uso en procesos por lotes cerrados (síntesis o formulación) (PROC 3) 4. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC8a) 5. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC8b) 6. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC9) 7. Producción de mezclas o artículos por tableteado, compresión, extrusión, formación de granulados (PROC 14) 8. Uso como reactivo de laboratorio (PROC15)</p> <p>* Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: Sistema de descriptores de uso:SU 8 (Fabricación de productos químicos a granel a gran escala) / SU 9 (Fabricación de productos, química fina)</p>																		
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente a la fabricación de nitrato amónico (ES1)																		
	<p>Exposición medioambiental debida a la fabricación de nitrato amónico</p> <p>La SECCIÓN 2.1 describe las emisiones al medio ambiente que pueden ocurrir durante la fabricación de nitrato amónico (ERC 1).</p> <p>Como esta sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente no se ha llevado a cabo la evaluación de riesgos medioambiental para esta sustancia y por tanto no se recogen las condiciones que afectan al medio ambiente durante este uso.</p>																		
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente a la fabricación de la sustancia, incluyendo su manejo, almacenamiento y controles de calidad																		
	<p>La SECCIÓN 2.2 describe la exposición potencial de los trabajadores debida a la fabricación de la sustancia, incluyendo su manejo, almacenamiento y controles de calidad.</p> <p>Todos los procesos relevantes para los distintos escenarios contributivos identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 1/2/3/8a/8b/9/14/15) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).</p>																		
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">Características del producto</td> <td>Sólido con bajo índice de formación de polvo</td> </tr> <tr> <td>Cantidades utilizadas</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia y duración del uso o exposición</td> <td>> 4 horas al día</td> </tr> <tr> <td>Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores</td> <td>La fabricación del nitrato amónico se lleva a cabo en interiores.</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas técnicas a nivel de proceso (fuente) para impedir la emisión</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas técnicas para controlar la dispersión de la fuente con respecto a los trabajadores</td> <td>1.- Contención de la sustancia de forma adecuada 2.- Buenas condiciones de ventilación</td> </tr> <tr> <td>Medidas organizativas para impedir o limitar las liberaciones, la dispersión y la exposición</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud</td> <td>Usar gafas de seguridad</td> </tr> </table>	Características del producto	Sólido con bajo índice de formación de polvo	Cantidades utilizadas	No relevante	Frecuencia y duración del uso o exposición	> 4 horas al día	Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo	No relevante	Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores	La fabricación del nitrato amónico se lleva a cabo en interiores.	Condiciones y medidas técnicas a nivel de proceso (fuente) para impedir la emisión	No relevante	Condiciones y medidas técnicas para controlar la dispersión de la fuente con respecto a los trabajadores	1.- Contención de la sustancia de forma adecuada 2.- Buenas condiciones de ventilación	Medidas organizativas para impedir o limitar las liberaciones, la dispersión y la exposición	No relevante	Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud	Usar gafas de seguridad
Características del producto	Sólido con bajo índice de formación de polvo																		
Cantidades utilizadas	No relevante																		
Frecuencia y duración del uso o exposición	> 4 horas al día																		
Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo	No relevante																		
Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores	La fabricación del nitrato amónico se lleva a cabo en interiores.																		
Condiciones y medidas técnicas a nivel de proceso (fuente) para impedir la emisión	No relevante																		
Condiciones y medidas técnicas para controlar la dispersión de la fuente con respecto a los trabajadores	1.- Contención de la sustancia de forma adecuada 2.- Buenas condiciones de ventilación																		
Medidas organizativas para impedir o limitar las liberaciones, la dispersión y la exposición	No relevante																		
Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud	Usar gafas de seguridad																		
3	Estimación de la exposición y referencia a su fuente																		
	<p>Información para el escenario contributivo 1 (Exposición medioambiental):</p> <p>No se ha realizado una evaluación ambiental porque la sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente y por tanto no se muestra una evaluación adicional de la exposición</p> <p>Información para el escenario contributivo 2 (Exposición para los trabajadores)</p> <p>Se ha considerado una evaluación cualitativa para concluir que este uso es seguro para los trabajadores.</p> <p>El efecto toxicológico de esta sustancia es la irritación ocular (parámetro local), para el cual no se puede estimar un valor DNEL, porque no existe información disponible de la dosis-respuesta. Solo se vio un mínimo efecto sistémico a dosis tan elevadas que los trabajadores no van a estar nunca expuestos (ver DNEL relevantes: SECCIÓN 8 FDS), que no se consideró necesario hacer una evaluación de riesgos cuantitativa.</p>																		
4	Orientación para usuarios intermedios para evaluar si trabajan dentro de los límites establecidos por el ES																		
	No se necesitan medidas de gestión de riesgo adicionales a las mencionadas anteriormente en los escenarios contributivos (2.1, 2.2) para garantizar la seguridad durante este uso y por tanto trabajar dentro de los límites del escenario de exposición ES 1.																		
5	Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH. Medidas no sujetas al art. 37 (4) REACH																		
	<ul style="list-style-type: none"> - Contención de la sustancia de forma adecuada - Minimizar el número de personal expuesto - Segregación de los procesos emisores - Utilizar sistemas eficaces de extracción de contaminantes - Buenas condiciones de ventilación - Minimizar la manipulación manual - Evitar contacto con objetos e instrumentos contaminados - Limpieza regular de la zona y equipo de trabajo - Supervisión del lugar para controlar que las medidas de gestión del riesgo se están aplicando - Formación del personal sobre buenas prácticas - Mantener condiciones estándar de higiene personal 																		

Nitrato amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 2

1	Título del Escenario de Exposición (ES)	Usos industriales del nitrato amónico para formulación de mezclas/artículos, como sustancia intermedia y uso final por industriales
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición	<p>Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 1</p> <p>SU 3/10 * PC 1/11/12/19/37 * PROC 1/2/3/5/8a/8b/9/13/15 ERC 2/6a</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)</p> <p>1. Formulación de mezclas (ERC 2) 2. Uso industrial que da lugar a la fabricación de otra sustancia (uso industrial de sustancias intermedias) (ERC 6a)</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC)</p> <p>1. Uso en procesos cerrados, exposición improbable (PROC 1) 2. Utilización en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada (PROC 2) 3. Uso en procesos por lotes cerrados (síntesis o formulación) (PROC 3) 4. Mezclado en procesos por lotes para la formulación de mezclas y artículos (PROC 5) 5. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC8a) 6. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC8b) 7. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC9) 8. Tratamiento de artículos mediante inmersión y derrame (PROC 13) 9. Uso como reactivo de laboratorio (PROC15)</p> <p>"Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: Sistema de descriptores de uso: SU 3 (Usos industriales: Usos de sustancias como tales o en mezclas en emplazamientos industriales) / SU 10 (Formulación de mezclas y/o reenvasado (sin incluir aleaciones). PC 1 (Adhesivos, sellantes) /11(Explosivos) /12 (Fertilizantes) /19 (Sustancias intermedias) / 37 (Productos químicos para el tratamiento del agua)</p>
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente a la formulación de mezclas y uso industrial como sustancia intermedia (ES 2)	<p>Exposición medioambiental debida a la formulación de mezclas y uso industrial del nitrato amónico como sustancia intermedia</p> <p>La SECCIÓN 2.1 describe las emisiones al medio ambiente que pueden ocurrir durante la formulación de mezclas (ERC 2) y el uso industrial como sustancia intermedia (ERC 6a).</p> <p>Como esta sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente no se ha llevado a cabo la evaluación de riesgos medioambiental para esta sustancia y por tanto no se recogen las condiciones que afectan al medio ambiente durante este uso.</p>
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente al uso industrial del nitrato amónico para la formulación de mezclas/artículos, como sustancia intermedia y uso final por trabajadores en emplazamientos industriales	<p>Todos los procesos relevantes para este escenario e identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 1/2/3/5/8a/8b/9/13/15) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).</p>
Características del producto		Sólido con bajo índice de formación de polvo Líquido
Cantidades utilizadas		No relevante
Frecuencia y duración del uso o exposición		> 4 horas al día
Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo		No relevante
Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores		El uso se lleva a cabo en interiores
Condiciones y medidas técnicas a nivel de proceso (fuente) para impedir la emisión		No relevante
Condiciones y medidas técnicas para controlar la dispersión de la fuente con respecto a los trabajadores		1.- Contención de la sustancia de forma adecuada 2.- Buenas condiciones de ventilación
Medidas organizativas para impedir o limitar las liberaciones, la dispersión y la exposición		No relevante
Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud		Usar gafas de seguridad
3	Estimación de la exposición y referencia a su fuente	<p>Información para el escenario contributivo 1 (Exposición medioambiental):</p> <p>No se ha realizado una evaluación ambiental porque la sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente y por tanto no se muestra una evaluación adicional de la exposición medioambiental.</p> <p>Información para el escenario contributivo 2 (Exposición para los trabajadores)</p> <p>Se ha considerado una evaluación cualitativa para concluir que este uso es seguro para los trabajadores.</p> <p>El efecto toxicológico de esta sustancia es la irritación ocular (parámetro local), para el cual no se puede estimar un valor DNEL, porque no existe información disponible de la dosis-respuesta. Solo se vio un mínimo efecto sistémico a dosis tan elevadas que los trabajadores no van a estar nunca expuestos (ver DNEL relevantes: SECCIÓN 8 FDS), que no se consideró necesario hacer una evaluación de riesgos cuantitativa.</p>
4	Orientación para usuarios intermedios para evaluar si trabajan dentro de los límites establecidos por el ES	<p>No se necesitan medidas de gestión de riesgo adicionales a las mencionadas anteriormente en los escenarios contributivos (2.1, 2.2) para garantizar la seguridad durante este uso y por tanto trabajar dentro de los límites del escenario de exposición ES 2.</p>
5	Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH. Medidas no sujetas al art. 37 (4) REACH	<ul style="list-style-type: none"> - Contención de la sustancia de forma adecuada - Minimizar el número de personal expuesto - Segregación de los procesos emisores - Utilizar sistemas eficaces de extracción de contaminantes - Buenas condiciones de ventilación - Minimizar la manipulación manual - Evitar contacto con objetos e instrumentos contaminados - Limpieza regular de la zona y equipo de trabajo - Supervisión del lugar para controlar que las medidas de gestión del riesgo se están aplicando - Formación del personal sobre buenas prácticas - Mantener condiciones estándar de higiene personal

Nitrato amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 3

1	Título del Escenario de Exposición (ES)																		
	Uso profesional del nitrato amónico para formulación de mezclas y uso final por profesionales																		
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición																		
	<p>Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 3</p> <p>SU 22 * PC 12 * PROC 1/2/8a/8b/9/11/15/19 ERC 8b/8e</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)</p> <p>1. Amplio uso dispersivo, en interiores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8b) 2. Amplio uso dispersivo, en exteriores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8e)</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el trabajador y su correspondiente Categoría del Proceso (PROC)</p> <p>1. Uso en procesos cerrados, exposición improbable (PROC 1) 2. Utilización en procesos cerrados y continuos con exposición ocasional controlada (PROC 2) 3. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones no especializadas (PROC8a) 4. Transferencia de sustancias o preparados (carga/descarga) de o hacia buques o grandes contenedores en instalaciones especializadas (PROC8B) 5. Transferencia de sustancias o preparados en pequeños contenedores (líneas de llenado especializadas, incluido el pesaje) (PROC9) 6. Pulverización no industrial (PROC 11) 7. Uso como reactivo de laboratorio (PROC15) 8. Mezclado manual con contacto estrecho y utilización únicamente de equipos de protección personal (PROC 19)</p> <p>*Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: Sistema de descriptores de uso: SU 22 (Usos profesionales: Ámbito público (administración, educación, espectáculos, servicios, artesanía) PC 12 (Fertilizantes)</p>																		
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente al uso del nitrato amónico por profesionales (ES3)																		
	Exposición medioambiental debida al uso del nitrato amónico por profesionales																		
	La SECCIÓN 2.1 describe las emisiones al medio ambiente que pueden ocurrir durante el amplio uso dispersivo, en interiores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8b) y el amplio uso dispersivo, en exteriores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8e)																		
	Como esta sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente no se ha llevado a cabo la evaluación de riesgos medioambiental para esta sustancia y por tanto no se recogen las condiciones que afectan al medio ambiente durante este uso.																		
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los trabajadores correspondiente al uso profesional del nitrato amónico para formulación de mezclas y uso final.																		
	Todos los procesos relevantes para este escenario e identificados por los códigos PROC en el punto 1 de este escenario (PROC 1/2/8a/8b/9/11/15/19) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).																		
	<table border="1"> <tr> <td>Características del producto</td> <td>Sólido con bajo índice de formación de polvo Líquido, concentración de nitrato amónico en el producto > 25%</td> </tr> <tr> <td>Cantidades utilizadas</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia y duración del uso o exposición</td> <td>> 4 horas al día</td> </tr> <tr> <td>Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores</td> <td>El uso se lleva a cabo en interiores y exteriores</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas técnicas a nivel de proceso (fuente) para impedir la emisión</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas técnicas para controlar la dispersión de la fuente con respecto a los trabajadores</td> <td>1.- Contención de la sustancia de forma adecuada 2.- Buenas condiciones de ventilación 3.- Evitar salpicaduras. Usar dispensadores específicos y surtidores diseñados específicamente para evitar salpicaduras/derrames/exposición</td> </tr> <tr> <td>Medidas organizativas para impedir o limitar las liberaciones, la dispersión y la exposición</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud</td> <td>Usar gafas de seguridad</td> </tr> </table>	Características del producto	Sólido con bajo índice de formación de polvo Líquido, concentración de nitrato amónico en el producto > 25%	Cantidades utilizadas	No relevante	Frecuencia y duración del uso o exposición	> 4 horas al día	Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo	No relevante	Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores	El uso se lleva a cabo en interiores y exteriores	Condiciones y medidas técnicas a nivel de proceso (fuente) para impedir la emisión	No relevante	Condiciones y medidas técnicas para controlar la dispersión de la fuente con respecto a los trabajadores	1.- Contención de la sustancia de forma adecuada 2.- Buenas condiciones de ventilación 3.- Evitar salpicaduras. Usar dispensadores específicos y surtidores diseñados específicamente para evitar salpicaduras/derrames/exposición	Medidas organizativas para impedir o limitar las liberaciones, la dispersión y la exposición	No relevante	Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud	Usar gafas de seguridad
Características del producto	Sólido con bajo índice de formación de polvo Líquido, concentración de nitrato amónico en el producto > 25%																		
Cantidades utilizadas	No relevante																		
Frecuencia y duración del uso o exposición	> 4 horas al día																		
Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo	No relevante																		
Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores	El uso se lleva a cabo en interiores y exteriores																		
Condiciones y medidas técnicas a nivel de proceso (fuente) para impedir la emisión	No relevante																		
Condiciones y medidas técnicas para controlar la dispersión de la fuente con respecto a los trabajadores	1.- Contención de la sustancia de forma adecuada 2.- Buenas condiciones de ventilación 3.- Evitar salpicaduras. Usar dispensadores específicos y surtidores diseñados específicamente para evitar salpicaduras/derrames/exposición																		
Medidas organizativas para impedir o limitar las liberaciones, la dispersión y la exposición	No relevante																		
Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal, la higiene y la evaluación de la salud	Usar gafas de seguridad																		
3	Estimación de la exposición y referencia a su fuente																		
	<p>Información para el escenario contributivo 1 (Exposición medioambiental):</p> <p>No se ha realizado una evaluación ambiental porque la sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente y por tanto no se muestra una evaluación adicional de la exposición medioambiental.</p> <p>Información para el escenario contributivo 2 (Exposición para los trabajadores)</p> <p>Se ha considerado una evaluación cualitativa para concluir que este uso es seguro para los trabajadores.</p> <p>El efecto toxicológico de esta sustancia es la irritación ocular (parámetro local), para el cual no se puede estimar un valor DNEL, porque no existe información disponible de la dosis-respuesta. Solo se vio un mínimo efecto sistémico a dosis tan elevadas que los trabajadores no van a estar nunca expuestos (ver DNEL relevantes: SECCIÓN 8 FDS), que no se consideró necesario hacer una evaluación de riesgos cuantitativa.</p>																		
4	Orientación para usuarios intermedios para evaluar si trabajan dentro de los límites establecidos por el ES																		
	No se necesitan medidas de gestión de riesgo adicionales a las mencionadas anteriormente en los escenarios contributivos (2.1, 2.2) para garantizar la seguridad durante este uso y por tanto trabajar dentro de los límites del escenario de exposición ES 3.																		
5	Consejos de buenas prácticas adicionales a los incluidos en la Evaluación de Riesgos de la Sustancia (CSA) exigida por REACH. Medidas no sujetas al art. 37 (4) REACH																		
	<ul style="list-style-type: none"> - Contención de la sustancia de forma adecuada - Minimizar el número de personal expuesto - Segregación de los procesos emisores - Utilizar sistemas eficaces de extracción de contaminantes - Buenas condiciones de ventilación - Minimizar la manipulación manual - Evitar contacto con objetos e instrumentos contaminados - Limpieza regular de la zona y equipo de trabajo - Supervisión del lugar para controlar que las medidas de gestión del riesgo se están aplicando - Formación del personal sobre buenas prácticas - Mantener condiciones estándar de higiene personal 																		

Nitrito amónico líquido en solución concentrada y caliente (>80% y ≤93%)

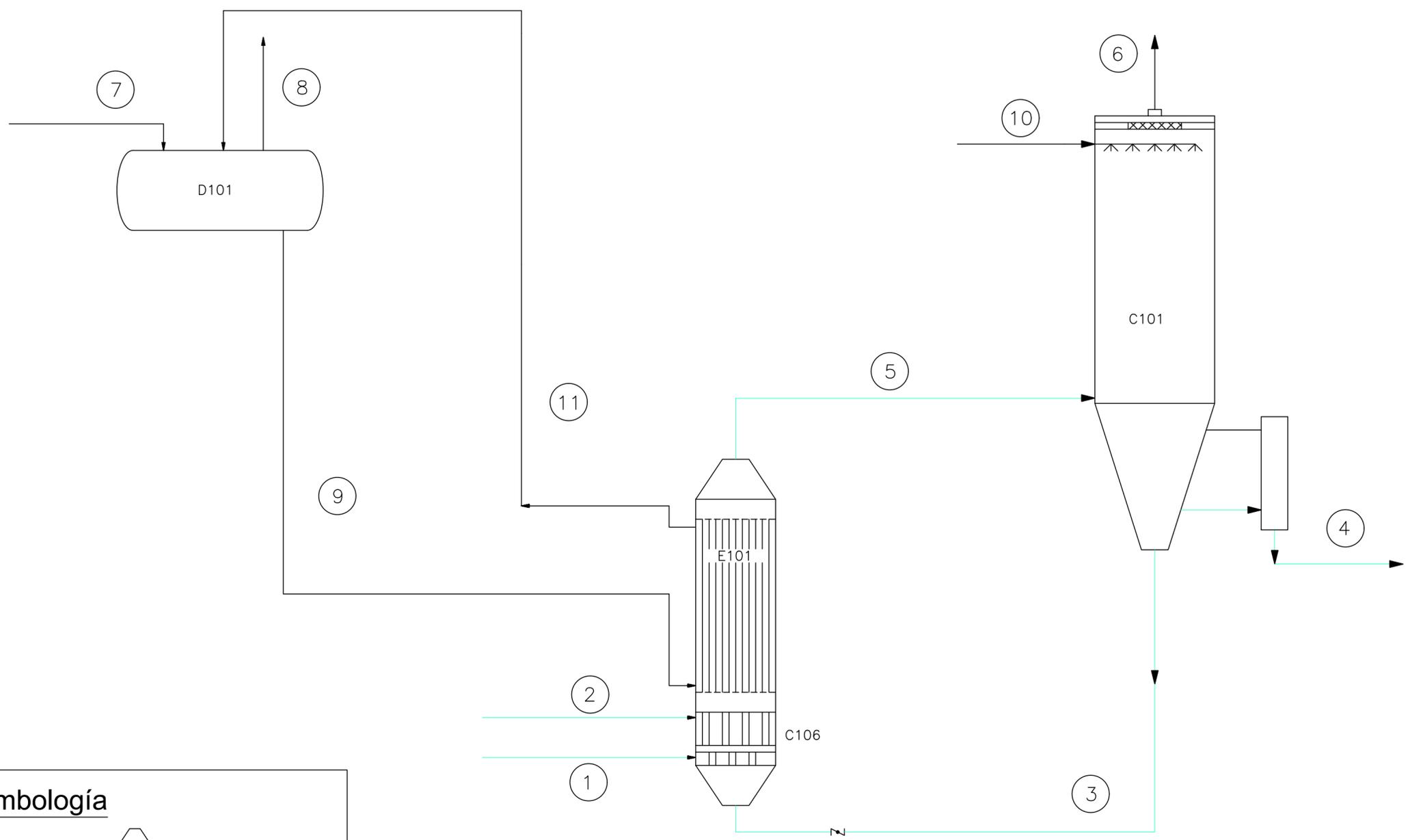
Anexos de la Ficha de Datos de Seguridad Escenario de Exposición 4

1	Título del Escenario de Exposición (ES)														
	Uso final por los consumidores de fertilizantes y cerillas y fuegos artificiales														
2	Descripción de las actividades o procesos cubiertos por el escenario de exposición														
	<p>Lista de todos los descriptores de uso relacionados con este ES 3</p> <p>SU 21 * PC 11/12 ERC 8b/8e/10a</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s relacionado/s con el medio ambiente y su correspondiente Categoría de Emisión Ambiental (ERC)</p> <p>1. Amplio uso dispersivo interior de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8b) 2. Amplio uso dispersivo exterior de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8e) 3. Amplio uso dispersivo exterior de artículos y materiales de larga vida con bajas emisiones (ERC 10a)</p> <p>Nombre/s del escenario/s contributivo/s para el consumidor y su correspondiente Categoría de Producto Químico (PC)</p> <p>1. Explosivos (PC 11) 2. Fertilizantes (PC 12)</p> <p>*Documento de orientación de la Agencia, Capítulo R.12: Sistema de descriptores de uso: SU 21 (Usos por los consumidores: Domicilios particulares (= público general = consumidores)</p>														
2.1	Escenario contributivo (1) que controla la exposición medioambiental correspondiente al uso de fertilizantes y cerillas y fuegos artificiales por los consumidores (ES4)														
	<p>Exposición medioambiental debida al uso de los consumidores del nitrito amónico contenido en fertilizantes y cerillas y fuegos artificiales</p> <p>La SECCIÓN 2.1 describe las emisiones al medio ambiente que pueden ocurrir durante el amplio uso dispersivo, en interiores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8b) y el amplio uso dispersivo, en exteriores, de sustancias reactivas en sistemas abiertos (ERC 8e)</p> <p>Como esta sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente no se ha llevado a cabo la evaluación de riesgos medioambiental para esta sustancia y por tanto no se recogen las condiciones que afectan al medio ambiente durante este uso.</p>														
2.2	Escenario contributivo (2) que controla la exposición de los consumidores correspondiente al uso de fertilizantes y cerillas y fuegos artificiales														
	<p>Todos las categorías de producto químico relevantes para este escenario e identificados por los códigos PC en el punto 1 de este escenario (PC 11, PC 12) tienen las mismas condiciones de operación y las medidas de gestión de riesgos para los trabajadores. Por lo que quedan todos cubiertos en un solo escenario contributivo (2).</p>														
	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Características del producto</td> <td>Sólido con bajo índice de formación de polvo Líquido Productos que contienen nitrito amónico en concentración ≥ 10% Productos que contienen nitrito amónico en concentración < 10%</td> </tr> <tr> <td>Cantidades utilizadas</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Frecuencia y duración del uso o exposición</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo</td> <td>No relevante</td> </tr> <tr> <td>Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores</td> <td>El uso se lleva a cabo en interiores y exteriores</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas relacionadas con información y las recomendaciones conductuales a los consumidores</td> <td>Evitar salpicaduras</td> </tr> <tr> <td>Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal y la higiene</td> <td>1.- Si la concentración es ≥ 10% usar gafas de seguridad 2.- Si la concentración es < 10%: no es necesaria protección personal alguna 3.- Indicar las recomendaciones de uso seguro para los consumidores en las etiquetas de los productos</td> </tr> </table>	Características del producto	Sólido con bajo índice de formación de polvo Líquido Productos que contienen nitrito amónico en concentración ≥ 10% Productos que contienen nitrito amónico en concentración < 10%	Cantidades utilizadas	No relevante	Frecuencia y duración del uso o exposición	No relevante	Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo	No relevante	Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores	El uso se lleva a cabo en interiores y exteriores	Condiciones y medidas relacionadas con información y las recomendaciones conductuales a los consumidores	Evitar salpicaduras	Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal y la higiene	1.- Si la concentración es ≥ 10% usar gafas de seguridad 2.- Si la concentración es < 10%: no es necesaria protección personal alguna 3.- Indicar las recomendaciones de uso seguro para los consumidores en las etiquetas de los productos
Características del producto	Sólido con bajo índice de formación de polvo Líquido Productos que contienen nitrito amónico en concentración ≥ 10% Productos que contienen nitrito amónico en concentración < 10%														
Cantidades utilizadas	No relevante														
Frecuencia y duración del uso o exposición	No relevante														
Factores humanos no influenciados por la gestión del riesgo	No relevante														
Otras condiciones operativas dadas que repercuten en la exposición de los trabajadores	El uso se lleva a cabo en interiores y exteriores														
Condiciones y medidas relacionadas con información y las recomendaciones conductuales a los consumidores	Evitar salpicaduras														
Condiciones y medidas relacionadas con la protección personal y la higiene	1.- Si la concentración es ≥ 10% usar gafas de seguridad 2.- Si la concentración es < 10%: no es necesaria protección personal alguna 3.- Indicar las recomendaciones de uso seguro para los consumidores en las etiquetas de los productos														
3	Estimación de la exposición y referencia a su fuente														
	<p>Información para el escenario contributivo 1 (Exposición medioambiental):</p> <p>No se ha realizado una evaluación ambiental porque la sustancia no cumple los criterios para ser clasificada como peligrosa para el medio ambiente y por tanto no se muestra una evaluación adicional de la exposición medioambiental.</p> <p>Información para el escenario contributivo 2 (Exposición para los trabajadores)</p> <p>Se ha considerado una evaluación cualitativa para concluir que este uso es seguro para los consumidores.</p> <p>El efecto toxicológico de esta sustancia es la irritación ocular (parámetro local), para el cual no se puede estimar un valor DNEL, porque no existe información disponible de la dosis-respuesta. Solo se vio un mínimo efecto sistémico a dosis tan elevadas que los consumidores o las personas no van a estar nunca expuestos (ver DNEL relevantes: SECCIÓN 8 FDS), que no se consideró necesario hacer una evaluación de riesgos cuantitativa.</p>														
4	Orientación para usuarios intermedios para evaluar si trabajan dentro de los límites establecidos por el ES														
	<p>No se necesitan medidas de gestión de riesgo adicionales a las mencionadas anteriormente en los escenarios contributivos (2.1, 2.2) para garantizar la seguridad durante este uso:</p> <p>Si la concentración de nitrito amónico es ≥ 10% usar gafas de seguridad Si la concentración es < 10%: no es necesaria protección personal alguna</p>														

4. PLANOS

Índice

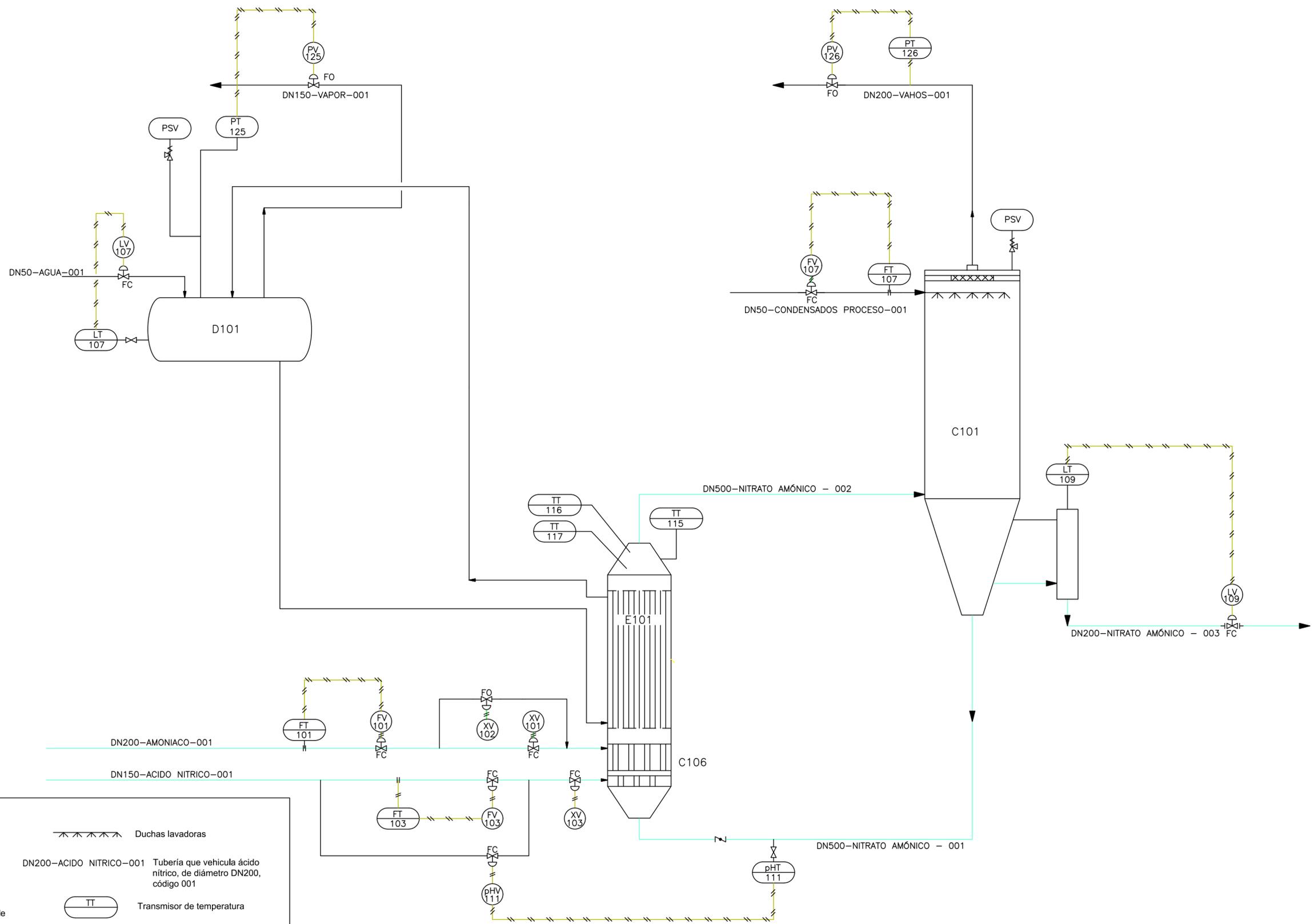
1. Plano N°1: Esquema de Corrientes
2. Plano N°2: Diagrama de Tuberías e Instrumentos
3. Plano N°3: Tuberías y Equipos



Simbología

	Corrientes Principales		Caldera
	Corrientes Secundarias		Reactor
	Número de Corriente		Tambor
	Válvula de mariposa		Duchas lavadoras
	Concentrador		Demister

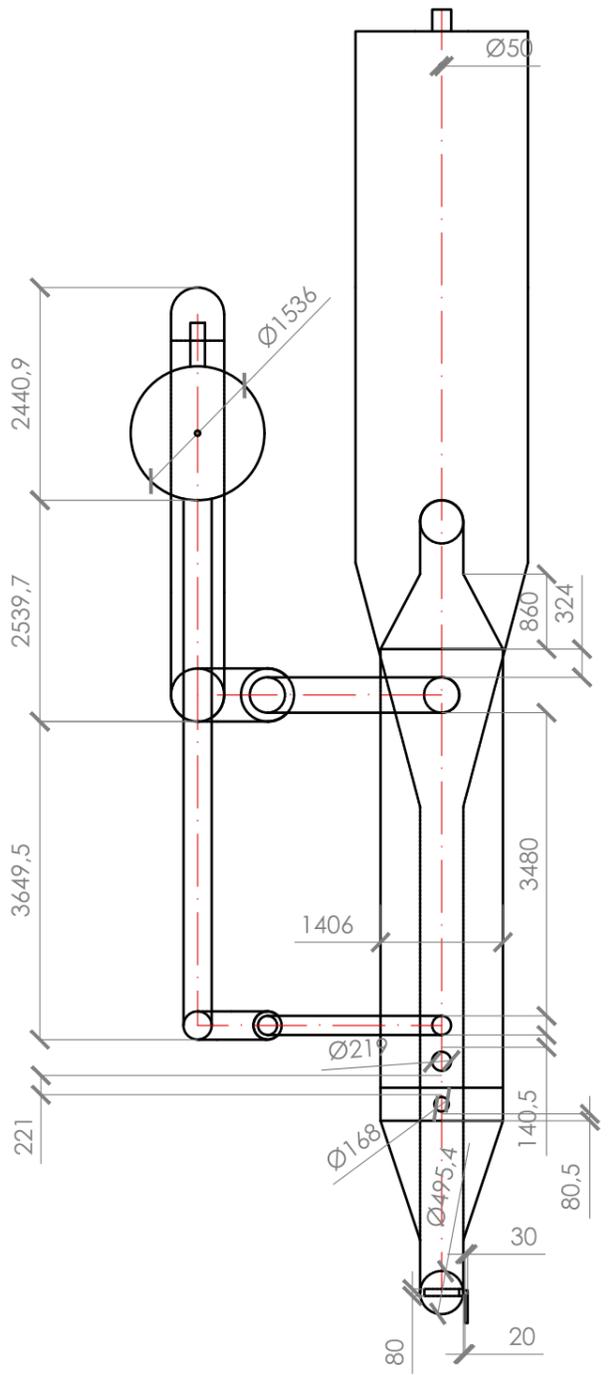
<i>Escala</i>	<i>Tipo</i>	
<i>Ud. Dimensional</i>	Esquema de corrientes	
	<i>Autor</i>	<i>Nº Plano</i>
	José Gil Martínez Madrid	1



Simbología

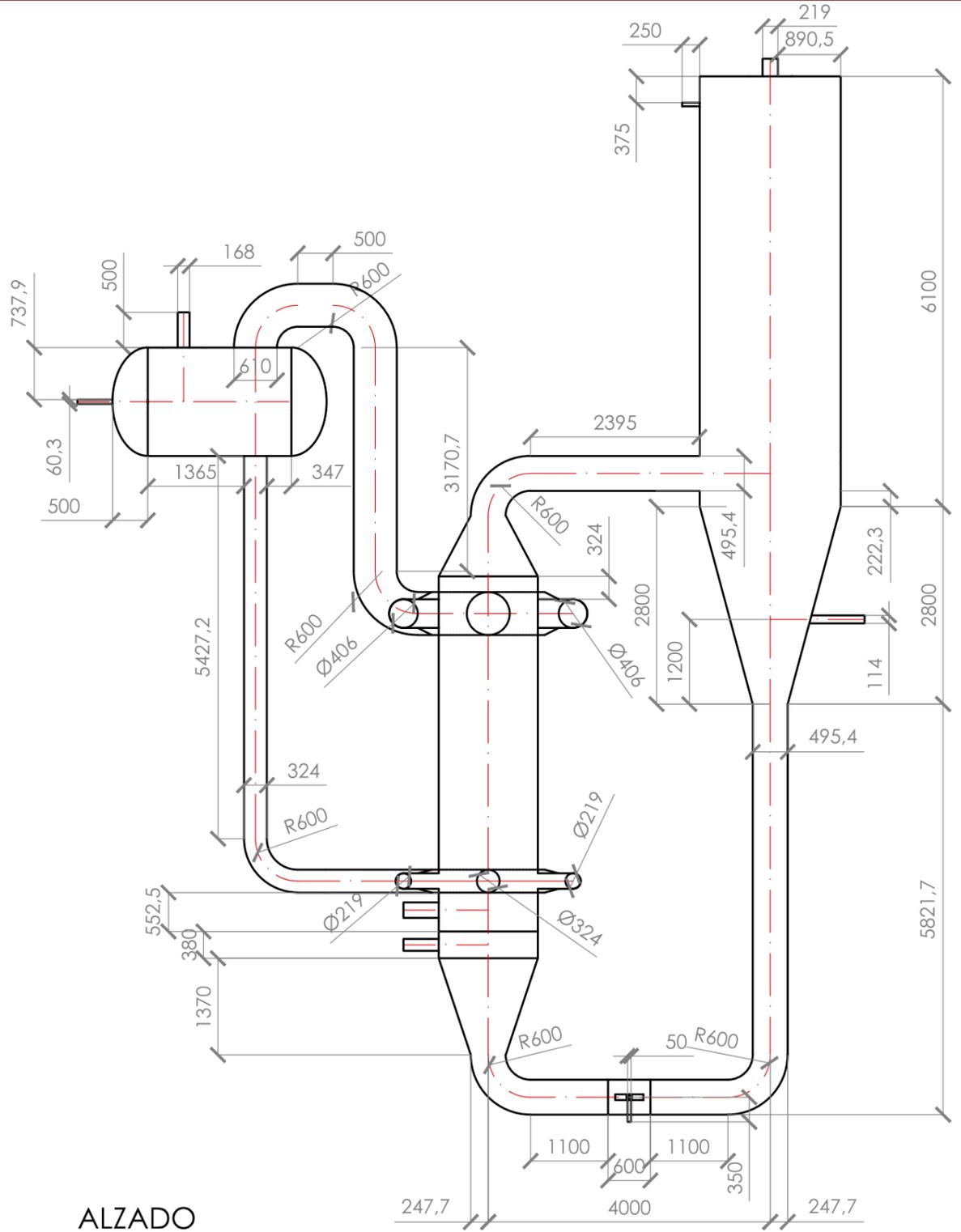
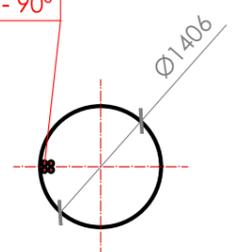
	Corrientes Principales		Duchas lavadoras
	Corrientes Secundarias		DN200-ACIDO NITRICO-001 Tubería que vehicula ácido nítrico, de diámetro DN200, código 001
	Transmisión señal por cable eléctrico (4-20 mA)		Transmisor de temperatura
	Demister		Transmisor de Nivel
	Válvula de mariposa		Válvula de control de Nivel
	Transmisor de Caudal		Transmisor de Presión
	Válvula de control de Caudal		Válvula que, en caso de fallo, abre
	Válvula de cierre rápido		Válvula que, en caso de fallo, cierra
	Transmisor de pH		Válvula de seguridad por Presión
	Válvula de control de Presión		

<i>Escala</i>	<i>Tipo</i>	
<i>Ud. Dimensional</i>	DIAGRAMA DE TUBERÍAS E INSTRUMENTOS	
	<i>Autor</i>	<i>Nº Plano</i>
	José Gil Martínez Madrid	2

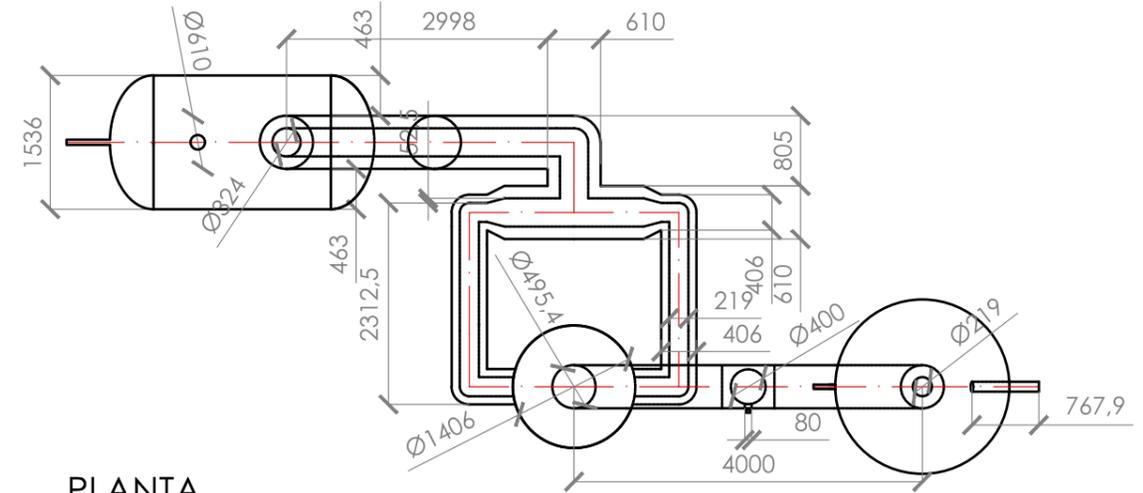


PERFIL
SECCIÓN A-A

205 Tubos Ø60,3 x 2,3 x 4.105 mm
PITCH 75,375 mm - 90°



ALZADO



PLANTA
CREADO CON UNA VERSION PARA ESTUDIANTES DE AUTODESK

<p>Escala 1/1</p>	<p>Tipo TUBERÍAS Y EQUIPOS</p>	
<p>Ud. Dimensional mm</p>	<p>Autor José Gil Martínez Madrid</p>	
	<p>Nº Plano 3</p>	

5. PLIEGO DE CONDICIONES

Índice

1. Especificación de materiales	4
2. Montaje Mecánico	6
3. Sección Eléctrica e Instrumentación	8
4. Aislamiento térmico	10
5. Inspecciones y pruebas	11

1. Especificación de materiales

Para el desarrollo del proyecto se han seleccionado varios tipos de materiales, en función de la corrosividad de los productos químicos con los que se pueden poner en contacto, y de la presión y temperatura máxima alcanzables de trabajo. El material seleccionado junto con el espesor adecuado son la garantía de que los equipos instalados son seguros. Por ello se solicitará a cada proveedor certificados físicoquímicos de materiales de todos los elementos que componen el proyecto.

Por ello, los materiales deberán cumplir las siguientes condiciones:

- Los perfiles de estructura soporte de las tuberías y de los equipos de la planta serán de material acero al carbono, tipo perfilería normalizada HEB220.
- Las tuberías, codos y demás accesorios de acero inoxidable serán en material AISI 304L, de ejecución sin soldaduras, de dimensiones normalizadas, a la presión nominal que se indique en cada caso o de acuerdo con norma DIN2458 de espesor de material mínimo.
- Las bridas de interconexión de los distintos elementos embridados (válvulas, medidores, etc.) de acero inoxidable serán en material AISI 304L, de dimensiones normalizadas, a la presión nominal que se indique en cada caso, de tipo plano con junta elástica.
- Las válvulas de bloqueo para tuberías de acero inoxidable serán en material AISI 304L, tipo de bola, embridadas con bridas planas con junta elástica, de dimensiones normalizadas, a la presión nominal que se indique.
- Las tuberías, codos y demás accesorios de acero carbono será en material ASTM A-106 Gr. B, de dimensiones normalizadas, a la presión nominal que se indique en cada caso. Para accesorios de dimensiones inferiores a DN50, los elementos serán soldados, y de DN50 en adelante serán embridados.
- Las bridas de interconexión de los distintos elementos embridados (válvulas, medidores, etc.) de acero carbono serán en material ASTM

A-106 Gr. B, de dimensiones normalizadas, a la presión nominal que se indique en cada caso, de tipo plano con junta elástica.

- Las válvulas de bloqueo para tuberías de acero al carbono serán en material ASTM A-106 Gr. B, tipo de bola, embridadas con bridas planas con junta elástica, de dimensiones normalizadas, a la presión nominal que se indique.

2. Montaje Mecánico

El Montaje Mecánico cumplirá las siguientes condiciones:

Incluirá el acopio de los materiales necesarios para la construcción en taller de los equipos del proyecto (C106, C101, E101 y D101), de acuerdo con los planos constructivos:

- Chapa de acero inoxidable 304L de varios espesores
- Chapa de acero al carbono de varios espesores
- Tubos de acero inoxidable

El contratista solicitará al proveedor correspondiente certificados fisicoquímicos de materiales de todos los elementos que componen el proyecto.

Todos los recipientes serán diseñados según el Código ASME, considerándose los requisitos exigidos en este código como mínimos. Cualquier otro requisito que siendo de aplicación a un recipiente suponga alguna modificación o variación a los del Código ASME, sólo deberá tenerse en cuenta si los supera haciendo el recipiente más seguro.

El contratista de montaje mecánico aportará todos los elementos auxiliares necesarios para la construcción de dichos equipos, transporte hasta la planta y montaje en la misma, incluyendo grúas, etc.

Las tuberías y accesorios serán ejecutados de acuerdo a los planos isométricos suministrados. En este caso los materiales le serán entregados aparte para la construcción en el plazo acordado.

El contratista deberá aportar asimismo los consumibles y equipos necesarios para soldadura tanto de Acero Inoxidable 304L, como de acero carbono necesario para el montaje mecánico de los equipos, y su interconexión con las tuberías y accesorios del proyecto.

El Suministrador presentará para aprobación todos los procedimientos de soldadura a utilizar. Los procedimientos de soldadura, previamente

aceptados, han de ser calificados de acuerdo con el código ASME IX, con los requisitos de ensayos adicionales de esta especificación y los particulares de cada equipo.

Cualquier soldador u operador de máquina automática de soldadura deberá estar calificado de acuerdo con la Sección IX de ASME.

Los materiales de aporte de soldadura deberán ajustarse a las normas de la Sección II Parte C de ASME, los cuales se clasificarán según dichas normas y estarán provistos del correspondiente certificado. Los criterios de aceptación para materiales de aporte no cubiertos por ASME deberán negociarse con la Ingeniería en cada caso particular.

3. Sección Eléctrica e Instrumentación

Los transmisores de caudal, presión, temperatura y nivel serán todos en acero inoxidable AISI 304L, todos ellos diseñados para PN20, con salida 4-20 mA, y protocolo HART para la comunicación con el control distribuido de la fábrica. De todos se solicitará hoja de calibración y certificado fisicoquímico de materiales. Se exigirá en todo caso un nivel de fiabilidad SIL-2, demostrable mediante certificado de probabilidad de fallo a demanda.

Los de caudal estarán embridados y serán tipo vortex o similar. Los de presión estarán soldados y dispondrán de sistema de corte y purga incorporados. Los de temperatura estarán ubicados en vainas del mismo tipo de acero inoxidable soldadas, y serán del diámetro y longitud especificados. Los transmisores de nivel serán tipo boya, soldados.

Del resto de pequeña instrumentación de campo (manómetros, termómetros, etc.) será asimismo en acero inoxidable AISI 304L, todos ellos diseñados para PN20, y se solicitará hoja de características y certificado fisicoquímico de materiales.

Las válvulas neumáticas del proyecto para tuberías de acero inoxidable serán en material AISI 304L, tipo de bola, embridadas con bridas planas con junta elástica, de dimensiones normalizadas, a la presión nominal que se indique. La actuación en caso de fallo será la indicada en el proyecto DN150 (para servicio de XCV103, válvula de cierre rápido de ácido nítrico al reactor), “a fallo de aire cierra”. Todas ellas serán diseñadas para PN20, con asiento de teflón, actuador de simple efecto, con todo el aparellaje necesario (convertidores IP, posicionador con transmisión digital, etc.) con comunicación 4-20 mA de entrada y salida, protocolo HART de comunicación con el control distribuido de fábrica.

Las válvulas neumáticas en acero al carbono cumplirán las condiciones establecidas en el párrafo anterior, pero el material de construcción será ASTM A-106 Gr. B

Las tarjetas de entrada y salida de señales digitales a o desde el Control Distribuido serán del tipo establecido por la fábrica para el modelo de control distribuido instalado en la misma (HONEYWELL C-300)

El montaje eléctrico será llevado a cabo por empresa especialista, y los electricistas serán personal autorizado y cualificado según la clasificación del Real Decreto 614/2001, de protección de los trabajadores frente al riesgo eléctrico. Incluirá el acopio y montaje de cable apantallado certificado, de transmisión 4-20 mA entre el Control Distribuido de fábrica y los distintos elementos del proyecto, así como el suministro y montaje de las bandejas de cables y los soportes necesarios.

4. Aislamiento térmico

Se aislarán todas las tuberías y sus elementos asociados donde los fluidos que contienen estén por encima de 60 °C., y será indicado en las isométricas de tuberías del proyecto. Los equipos a aislar están también indicados en los planos constructivos de recipientes y equipos.

No se aplicará aislamiento en los elementos siguientes:

- Placas de características de recipientes y equipos.
- La parte superior de las válvulas con husillo, a partir de prensaestopas e incluyendo éste.
- Cuerpo de válvulas de seguridad, incluidas las bridas de conexión.
- Juntas de expansión.
- Accesorios y juntas giratorias.
- Elementos móviles en general

Se utilizará como material de aislamiento espuma de poliuretano expandido.

El acabado de protección mecánica y de intemperie del aislamiento se realizará con chapa de aluminio de 0,8 mm de espesor para longitud de circunferencia exterior del aislamiento menor de 400 mm y de 1 mm de espesor para dicha longitud igual o mayor a 400 mm, con un contenido máximo de cobre del 0,2 %.

5. Inspecciones y pruebas

Todas las soldaduras sometidas a presión serán radiografiadas al 100 %.

El control radiográfico de aceptación de las soldaduras debe efectuarse totalmente después del correspondiente tratamiento térmico final. No tendrán validez para dicha aceptación los controles que se hayan efectuado con anterioridad.

El control radiográfico debe realizarse S/ASME con aparatos y con técnicas aprobadas.

Las películas deberán ser del tipo de grano fino, de gran definición y altos contrastes.

La sensibilidad requerida no será inferior al 1,5 % del espesor (mediante indicadores adecuados). La densidad medida sobre cordón estará comprendida entre 2 y 3.

En las uniones que no se puedan radiografiar, se efectuará un control magnetoscópico durante la soldadura.

Las zonas saneadas se inspeccionarán con partículas magnéticas.

En la superficie exterior de los fondos se efectuará un control magnetoscópico, al menos en la zona de mayor curvatura.

Después de la prueba hidráulica se efectuará un control magnetoscópico de aceptación en todas las soldaduras tanto en el interior como en el exterior del recipiente

Durante la prueba hidráulica la temperatura de la envolvente no debe ser inferior a 16,7 °C para casos particulares, podrán requerirse temperaturas superiores. No se admiten pruebas preliminares antes de la prueba oficial de aceptación.

La prueba hidráulica se hará en presencia de personal de organismo colaborador de la administración, que emitirá certificado correspondiente. Este certificado junto con los de las restantes pruebas radiográficas, etc. se incluirán dentro del dossier de cálculo del proyecto para su tramitación ante las autoridades competentes, para la completa legalización de los equipos y tuberías sujetas al Reglamento de Equipos a Presión, Real Decreto 2060/2008.

6. ESTADO DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

Índice

1. Inversión inicial en Obra civil	4
2. Inversión inicial en Sección Mecánica	5
2.1 Materiales	5
2.2 Montaje Mecánico	7
3. Inversión inicial en Sección eléctrica e instrumentación	8
3.1 Materiales eléctricos e instrumentación	8
3.2 Montaje eléctrico e Instrumentación.....	11
4. Otros Gastos	12

1. Inversión inicial en Obra civil

El presente proyecto se encuadra dentro de la actual fábrica de FERTIBERIA S.A, situada en el Puerto de Sagunto. Por ello, se contabilizará la sección de obra civil a coste cero, al tratarse de una planta ya existente, en la que se va a modificar la parte del reactor y la caldera de producción de vapor. Se aprovechará así la obra civil existente anterior al presente proyecto.

2. Inversión inicial en Sección Mecánica

2.1 Materiales

Como base de cálculo se ha adoptado el glosario de precios de varios proveedores nacionales de perfiles de acero al carbono, tuberías y accesorios, así como de chapa, tuberías y accesorios de acero inoxidable AISI 304L (*Tabla 2.1 y Tabla 2.2*).

Tabla 2.1 *Desglose de conducciones y accesorios*

- Perfiles normalizados en acero al carbono tipo HEB220, estimación de 100 m.
- Tubería de acero inoxidable 304L DN500 DIN2458, estimación de 20 m
- Codos radio largo en acero Inoxidable 304L DN500 DIN2458, estimación de 3 Uds.
- Bridas acero inox. 304L DN500 PN10 estimación de 2 Uds.
- Tubería de acero inoxidable 304L DN150 DIN2458, estimación de 40 m
- Codos radio largo en acero Inoxidable 304L DN150 DIN2458, estimación de 6 Uds.
- Bridas acero inox. 304L DN150 PN10 estimación de 12 Uds.
- Válvulas de bloqueo de bola en acero inoxidable 304L, embridadas DN150 PN10, estimación de 2 Uds.
- Tubería de acero inoxidable 304L DN200 DIN2458, estimación de 10 m
- Codos radio largo en acero Inoxidable 304L DN200 DIN2458, estimación de 4 Uds.
- Bridas acero inox. 304L DN200 PN10 estimación de 8 Uds.
- Válvulas de bloqueo de bola en acero inoxidable 304L embridadas, DN200 PN10, estimación de 2 Uds.
- Tubería de acero inoxidable 304L DN50 DIN2458, estimación de 20 m
- Codos radio largo en acero Inoxidable 304L DN50 DIN2458, estimación de 4 Uds.
- Bridas acero inox. 304L DN50 PN10 estimación de 6 Uds.
- Válvulas de bloqueo de bola en acero inoxidable 304L embridadas, DN50 PN10, estimación de 2 Uds.

En la *Tabla 2.2* se desglosa el resto de los costes de conducciones y accesorios recogidos en la *Tabla 2.1* y la *Tabla 2.2*.

Tabla 2.2 *Desglose de conducciones y accesorios*

<ul style="list-style-type: none">• Tubería de acero inoxidable 304L DN50 DIN2458, estimación de 20 m• Codos radio largo en acero Inoxidable 304L DN50 DIN2458, estimación de 4 Uds.• Bridas acero inox. 304L DN50 PN10 estimación de 6 Uds.• Válvulas de bloqueo de bola en acero inoxidable 304L embridadas, DN50 PN10, estimación de 2 Uds.• Tubería de acero al carbono DN50 DIN2458, estimación de 20 m• Codos radio largo en acero al carbono DN50 DIN2458, estimación de 4 Uds.• Bridas acero al carbono DN50 PN10 estimación de 6 Uds.• Válvulas de bloqueo de bola en acero al carbono embridadas, DN50 PN10, estimación de 2 Uds.• Válvula de mariposa de acero inoxidable 304L, DN500, PN10 embridada, estimación de 1 Ud.• Otro material en acero Inoxidable 304L.
<i>Subtotal materiales sección mecánica 140.000 €</i>

2.2 Montaje Mecánico

Como base de cálculo del apartado de montaje mecánico del proyecto, se ha adoptado el glosario de precios de varios contratistas mecánicos locales de la zona de Valencia y Castellón, para trabajos de soldadura de acero al carbono y acero inoxidable AISI 304L, tuberos, caldereros, montadores, y demás especialidades mecánicas (*Tabla 2.3*).

Tabla 2.3 *Montaje de la Sección Mecánica*

<p>Acopio de materiales y construcción en taller de los equipos del proyecto (C106, C101, E101 y D101), incluyendo todos los elementos auxiliares necesarios, transporte hasta la planta y montaje en la misma, incluyendo grúas, etc., necesarias para el montaje. Incluye asimismo los consumibles y equipos necesarios para soldadura tanto de Acero Inoxidable AISI 304L, como de acero carbono necesario para el montaje mecánico de los equipos, y su interconexión con las tuberías y accesorios del proyecto.</p> <p>(Se estima que se necesitarán 8 trabajadores durante 3 meses de trabajo)</p>	
<i>Subtotal Montaje Sección Mecánica</i>	<i>200.000 €</i>

En la *Tabla 2.4* se muestra el coste total de la Sección Mecánica.

Tabla 2.4 *Coste total de la Sección Mecánica*

<i>Subtotal materiales sección mecánica</i>	<i>140.000€</i>
<i>+Subtotal Montaje Sección Mecánica</i>	<i>200.000€</i>
<i>Total Sección Mecánica</i>	<i>340.000€</i>

3. Inversión inicial en Sección eléctrica e instrumentación

3.1 Materiales eléctricos e instrumentación

En la *Tabla 3.1* se detallan los transmisores.

Tabla 3.1 *Transmisores*

<p>2 Transmisores de caudal en acero inoxidable 304L embridados tipo vortex o similar,</p> <ul style="list-style-type: none"> • FT103, para medición de caudal de ácido nítrico al reactor, de rango 0-70 t/h, y • FT101, para medición de caudal de amoniaco al reactor, de rango 0-10 t/h <p>2 Transmisores de Presión en acero inoxidable 304L soldados,</p> <ul style="list-style-type: none"> • PT126, para medición de la presión del reactor y • PT125, para medición de la presión de la caldera <p>3 Transmisores de temperatura,</p> <ul style="list-style-type: none"> • TT116 y TT117A/B, para medición de temperatura en el sistema del reactor. <p>2 Transmisores de nivel 304L soldados</p> <ul style="list-style-type: none"> • LT109, para medición de nivel en el concentrador • LT107, para medición de nivel en el tambor de vapor de la caldera. <p>(todos ellos para PN20, con salida 4-20 mA, y protocolo HART de comunicaciones).</p> <p>Otra instrumentación de campo en acero inoxidable 304L (manómetros, termómetros, etc.)</p>	<p>40.000€</p>
--	----------------

En la *Tabla 3.2* y la *En la Tabla 3.3* se recoge el coste de las válvulas neumáticas de bola en acero al carbono.

Tabla 3.3 se muestra el total de válvulas neumáticas.

Tabla 3.2 *Válvulas neumáticas de bola en AISI 304L*

<p>8 Válvulas neumáticas de bola en 304L embridadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DN150 (para servicio de XV103, válvula de cierre rápido de ácido nítrico al reactor), “a fallo de aire cierra” • DN200 (para servicio de XV101, válvula de cierre rápido de amoniaco al reactor), “a fallo de aire cierra” • DN50 (para servicio de XV102, válvula de apertura rápida de amonización del reactor), “a fallo de aire abre” • DN200 (para servicio de PV126, control de la presión del reactor), “a fallo de aire abre” • DN150 (para servicio de FV103, control de caudal de ácido nítrico al reactor), “a fallo de aire cierra” • DN 150 (para servicio de FV101, control de caudal de amoniaco al reactor) “a fallo de aire cierra”, y • DN150 (para servicio de LV109, control de nivel de nitrato en el separador)“a fallo de aire cierra” • DN50 (para servicio de pHT111, control de pH en el reactor), “a fallo de aire, cierra” <p>(Todas ellas para PN20, con asiento de teflón, actuador de simple efecto, con todo el aparellaje necesario (convertidores IP, posicionador con transmisión digital, etc.) con comunicación 4-20 mA de entrada y salida, protocolo HART de comunicaciones).</p>	<p>40.000€</p>
--	----------------

En la *Tabla 3.3* se recoge el coste de las válvulas neumáticas de bola en acero al carbono.

Tabla 3.3 *Válvulas neumáticas de bola en acero al carbono*

<p>2 Válvulas neumáticas de bola en acero al carbono embridadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • DN150 (para servicio de PV125 control de vapor en sistema de caldera) “a fallo de aire abre”, y • DN50 (para servicio de LV107 de alimentación de agua al sistema de la caldera), “a fallo de aire cierra”, <p>(ambas PN20 con asiento de teflón, actuador de simple efecto con todo el aparellaje necesario (convertidores IP, posicionador con transmisión digital, etc.) con comunicación 4-20 mA de entrada y salida, protocolo HART de comunicaciones).</p>	<p>5.000€</p>
--	---------------

En la *Tabla 3.4* se muestra el coste de las tarjetas y sistema de acceso al Control Distribuido de la planta.

Tabla 3.4 *Tarjetas de entrada y salida del Control Distribuido*

Tarjetas de entrada y salida del Control Distribuido	10.000€
--	---------

En la *Tabla 3.5* se muestra el coste de una parte del material para montaje.

Tabla 3.5 *Pequeño material para montaje eléctrico e instrumentación*

Pequeño material para montaje eléctrico e instrumentación	10.000€
---	---------

El coste total de la sección de montaje eléctrico se muestra en la *Tabla 3.6*.

Tabla 3.6 *Subtotal materiales para montaje eléctrico*

<i>Subtotal materiales para montaje eléctrico</i>	<i>105.000€</i>
--	------------------------

3.2 Montaje eléctrico e Instrumentación

En la *Tabla 3.7* se muestra el subtotal de coste de la sección eléctrica e instrumentación.

Tabla 3.7 *Subtotal de la sección eléctrica e instrumentación*

Suministro y montaje de cableado mediante cable apantallado de transmisión 4-20 mA entre el Control Distribuido de fábrica y los distintos elementos del proyecto, incluyendo el suministro y montaje de las bandejas y los soportes necesarios.	
<i>Subtotal Montaje eléctrico e instrumentación</i>	70.000€

Para finalizar, en la *Tabla 3.8* se recoge el coste total de la sección eléctrica y de instrumentación.

Tabla 3.8 *Coste total de la sección eléctrica y de instrumentación*

<i>Subtotal materiales para montaje eléctrico</i>	<i>105.000€</i>
<i>+ Subtotal Montaje eléctrico e instrumentación</i>	<i>70.000€</i>
<i>Total sección eléctrica e instrumentación</i>	<i>175.000€</i>

4.Otros Gastos

En la *Tabla 4.1* se recoge el gasto total de la sección otros gastos.

Tabla 4.1 *Total sección otros gastos*

Suministro e instalación de aislamiento térmico en todas las tuberías y equipos, con manta aislante de fibra de vidrio de 100 mm de espesor y recubrimiento exterior completo en chapa de aluminio.	15.000 €
Ejecución de comprobación radiográfica de todas las soldaduras de acero inoxidable de las tuberías y equipos, con emisión de certificados; ejecución de pruebas de presión a los distintos equipos bajo supervisión de Organismo Colaborador de la Administración y emisión de certificados de pruebas; y tramitación de proyecto ante las autoridades competentes para la completa legalización de los equipos y tuberías sujetas al Reglamento de Equipos a Presión, RD2060/2008.	60.000 €
Total sección de otros gastos	75.000€

El resumen de la Inversión necesaria estimada para el proyecto es el siguiente (*Tabla 4.2*):

Tabla 4.2 *Resumen de la inversión inicial total*

Inversión Sección Mecánica	340.000€
Inversión Sección Eléctrica	175.000€
+Inversión Otros Gastos	75.000 €
<u>Total Inversión Inicial</u>	<u>590.000€</u>

La inversión inicial total estimada para el proyecto es de **QUINIENTOS NOVENTA MIL EUROS**.