

Proyecto final de grado 102434

Grado en Ingeniería Química

Planta de producción de 1-naftol



Antonio Caballero

Sergio Cardona Delgado

Marc López Jubany

Luis Mora Cuadros

Daniel Pardos García

Páginas del documento: 851

Fecha de entrega: 06/06/2014

1. Especificaciones del proyecto

En primer lugar, agradecer a nuestro tutor Toni Sánchez por el trabajo realizado conjuntamente y haber resuelto dudas viendo nuestra evolución durante estos meses.

Por otro lado, a todos los profesores de la facultad de ingeniería de la UAB por su paciencia y predisposición en todo momento para resolver cualquier tema que se trabajase.

A su vez, a todas aquellas personas o empresas que nos han dedicado unos minutos para solucionar aspectos que, por nuestra falta de experiencia, no conocíamos y que sin ellos tampoco se hubiese podido realizar el proyecto de manera satisfactoria.

Una mención especial a nuestra amiga Marina por su talento para el diseño del logo de nuestra empresa Inaphthol, creada únicamente para este trabajo.

También nos gustaría agradecer a José Manuel Pardos por habernos ayudado a enfocar y asentar los conocimientos aprendidos del presente proyecto desde un punto de vista práctico.

Mencionar de forma muy destacada a nuestras familias dado que sin ellas no hubiésemos podido realizar este grado y sobre todo el apoyo que nos han dado durante estos cuatro años.

Por último agradecemos entre nosotros habernos soportado estos meses, creando un buen ambiente de trabajo y apoyándonos en los momentos complicados, pudiendo resolver discusiones y conflictos. Una gran experiencia para acabar nuestros cuatro años de grado y poder acercarnos al mundo laboral.

Índice del proyecto

1 ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1 BASES DEL PROYECTO

- 1.1.1 Bases del proyecto
- 1.1.2 Especificaciones de la producción
- 1.1.3 Alcance del proyecto
- 1.1.4 Localización geográfica de la planta
- 1.1.5 Abreviaturas

1.2 MÉTODOS DE OBTENCIÓN

- 1.2.1 Introducción
- 1.2.2 Procesos de obtención del alfa-naftol
- 1.2.3 Usos del 1-naftol

1.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA PROCESO DE PRODUCCIÓN

- 1.3.1 Nitración del naftaleno
- 1.3.2 Hidrogenación del 1-nitronaftaleno
- 1.3.3 Hidrólisis de la naftilamina
- 1.3.4 Cristalización y obtención del 1-naftol

1.4 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA

- 1.4.1 Descripción de las áreas
- 1.4.2 Horario y plantilla de trabajo
- 1.4.3 Programación temporal de la construcción de la planta
- 1.4.4 Programación temporal del proceso de producción

1.5 BALANCE DE MATERIA

1.6 ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES DE SERVICIO

- 1.6.1 Agua de red
- 1.6.2 Agua de refrigeración
- 1.6.3 Grupos de frío
- 1.6.4 Agua descalcificada
- 1.6.5 Aceite térmico
- 1.6.6 Gas natural
- 1.6.7 Aire comprimido
- 1.6.8 Electricidad

2 EQUIPOS

2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

- 2.1.1 Tanques de almacenamiento
- 2.1.2 Reactores
- 2.1.3 Columnas de destilación
- 2.1.4 Separador tipo flash
- 2.1.5 Decantadores
- 2.1.6 Centrifugadora CTF-503
- 2.1.7 Secador DRY-504
- 2.1.8 Decantador centrífugo
- 2.1.9 Pervaporación
- 2.1.10 Tanques pulmón
- 2.1.11 Mezclador MIX-305
- 2.1.12 Servicios

2.2 LISTADO DE EQUIPOS

2.3 HOJAS DE ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS

- 2.3.1 Área 100
- 2.3.2 Área 200
- 2.3.3 Área 300
- 2.3.4 Área 400
- 2.3.5 Área 500
- 2.3.6 Área 600
- 2.3.7 Área 900
- 2.3.8 Área 1000

2.4 AISLAMIENTOS

3 CONTROL E INSTRUMENTACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

3.2 ARQUITECTURA DE CONTROL

3.2.1 Implementación en planta

3.2.2 Estructura de control distribuida

3.2.3 Elementos del sistema de control

3.2.4 Tipos de señales

3.2.5 Lazos de control

3.2.6 Otros lazos

3.3 NOMENCLATURA LAZOS DE CONTROL

3.4 LAZOS PRESENTES. CHECK LIST

3.4.1 Área 100

3.4.2 Área 200

3.4.3 Área 300

3.4.4 Área 400

3.4.5 Área 500

3.5 DESCRIPCIÓN Y DIAGRAMAS LAZOS DE CONTROL

3.5.1 Lazos de control

3.5.2 Lazos de monitorización y seguridad

3.6 SEÑALES

3.7 INSTRUMENTACIÓN

3.7.1 Check list instrumentación de los lazos de control

3.7.2 Check list instrumentación lazos monitorización y seguridad

3.7.3 Elementos de medición

3.7.4 Elementos finales de control

4 TUBERÍAS, VÁLVULAS, ACCESORIOS Y BOMBAS

4.1 TUBERÍAS

- 4.1.1 Introducción
- 4.1.2 Nomenclatura
- 4.1.3 Aislamiento
- 4.1.4 Listado de líneas

4.2 VÁLVULAS

- 4.2.1 Clasificación de las válvulas
- 4.2.2 Tipos de válvulas
- 4.2.3 Nomenclatura
- 4.2.4 Listado de válvulas

4.3 ACCESORIOS

- 4.3.1 Tipos de accesorios
- 4.3.2 Nomenclatura
- 4.3.3 Listado de accesorios

4.4 BOMBAS Y COMPRESORES

- 4.4.1 Bombas
- 4.4.2 Compresores y sopladores

5 SEGURIDAD

5.1 INTRODUCCIÓN

5.2 DISPOSICIONES MÍNIMAS DE SEGURIDAD Y SALUD EN LOS LUGARES DE TRABAJO

- 5.2.1 Condiciones de construcción
- 5.2.2 Mantenimiento de la planta
- 5.2.3 Condiciones del entorno
- 5.2.4 Iluminación
- 5.2.5 Servicios higiénicos y locales de descanso
- 5.2.6 Material y locales de primeros auxilios

5.3 MANIPULACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS

- 5.3.1 Clasificación de sustancias peligrosas
- 5.3.2 Comercialización de sustancias peligrosas
- 5.3.3 Fichas internacionales de seguridad química
- 5.3.4 Almacenamiento de productos químicos
- 5.3.5 Señalización de seguridad

5.4 PRINCIPALES RIESGOS DE LA INDUSTRIA

- 5.4.1 Riesgo de tipo mecánico
- 5.4.2 Riesgo de tipo térmico
- 5.4.3 Riesgo de fuga

5.5 SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES DE SERVICIOS

- 5.5.1 Fenómenos de corrosión e incrustación
- 5.5.2 Legionelosis

5.6 PLAN DE EMERGENCIA INTERIOR

- 5.6.1 Objetivos del Plan de Emergencia Interior
- 5.6.2 Etapas de elaboración del Plan de Emergencia Interior
- 5.6.3 Elementos de un plan de emergencia

5.7 PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

- 5.7.1 Introducción
- 5.7.2 Caracterización de los establecimientos industriales por su configuración y ubicación

5.7.3 Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco

5.7.4 Sistemas de protección contra incendios

5.8 EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL (EPI)

5.8.1 Protección craneal

5.8.2 Protección auditiva

5.8.3 Protección ocular y facial

5.8.4 Protección de extremidades superiores

5.8.5 Protección de extremidades inferiores

5.8.6 Protección de las vías respiratorias

5.8.7 Protectores de tronco y abdomen

5.8.8 Protección integral

5.8.9 Protectores de la piel

6 MEDIO AMBIENTE

6.1 INTRODUCCIÓN

6.2 TIPOS DE CONTAMINACIÓN

- 6.2.1 Contaminación de las aguas
- 6.2.2 Contaminación atmosférica
- 6.2.3 Contaminación por residuos
- 6.2.4 Contaminación acústica
- 6.2.5 Contaminación lumínica
- 6.2.6 Impacto visual

6.3 TRATAMIENTO EFLUENTES LÍQUIDOS DE LA PLANTA

- 6.3.1 Efluentes separador flash FS-204
- 6.3.2 Pervaporación isopropanol
- 6.3.3 Decantación

6.4 RESIDUOS SÓLIDOS

- 6.4.1 Destilación DC-205
- 6.4.2 Sólidos centrifugadora
- 6.4.3 Residuos procedentes del área 700, oficinas
- 6.4.4 Residuos procedentes del área 700

6.5 TRATAMIENTO DE EFLUENTES GASEOSOS DE LA PLANTA

7 EVALUACIÓN ECONÓMICA

7.1 INTRODUCCIÓN

7.2 COSTES DE EQUIPOS

7.3 CAPITAL INMOBILIZADO

7.4 CAPITAL CIRCULANTE

7.5 COSTES DE MANUFACTURA Y GENERALES

7.5.1 Costes directos

7.5.2 Costes indirectos o gastos generales de fabricación

7.5.3 Costes de administración y ventas

7.6 BENEFICIOS POR VENTAS

7.7 CÁLCULO DE LA RENTABILIDAD DE LA EMPRESA

7.7.1 Net Cash Flow

7.7.2 Estudio VAN y TIR

7.8 VIABILIDAD ECONÓMICA DE LA PLANTA

8 PUESTA EN MARCHA

8.1 INTRODUCCIÓN

8.2 TAREAS PREVIAS A LA PUESTA EN MARCHA

- 8.2.1 Tests mecánicos
- 8.2.2 Tests hidráulicos y neumáticos
- 8.2.3 Mantenimiento
- 8.2.4 Inspecciones
- 8.2.5 Limpieza, secado y purga de equipos
- 8.2.6 Seguridad y protección contra el fuego

8.3 PUESTA EN MARCHA DE LAS DIFERENTES ÁREAS

8.4 HAZOP

- 8.4.1 Etapas del HAZOP
- 8.4.2 Aplicación HAZOP

9 OPERACIÓN DE PLANTA

9.1 OPERACIÓN DE LA PLANTA

9.2 PARADA DE LA PLANTA POR MANTENIMIENTO

9.3 SUMINISTRO DE MATERIAS PRIMAS

9.4 PARÁMETROS CRÍTICOS

10 DIAGRAMAS Y P&ID's

10.1 SIMBOLOGÍA UTILIZADA EN LOS P&ID's

10.2 DIAGRAMA DE IMPLANTACIÓN (LAYOUT)

10.3 DIAGRAMA MEDIDAS SEGURIDAD CONTRA INCENDIO

10.4 DIAGRAMA GENERAL DEL PROCESO

10.5 P&ID DEL ÁREA 100A

10.6 P&ID DEL ÁREA 100B Y C

10.7 P&ID DEL ÁREA 200

10.8 P&ID DEL ÁREA 300

10.9 P&ID DEL ÁREA 400

10.10 P&ID DEL ÁREA 500

11 MANUAL DE CÁLCULO

1- Especificaciones del proyecto

Índice

1.1 BASES DEL PROYECTO	18
1.1.1 Bases del proyecto	18
1.1.2 Especificaciones de la producción.....	18
1.1.3 Alcance del proyecto	19
1.1.4 Localización geográfica de la planta	19
1.1.4.1 Características del polígono industrial	19
1.1.4.2 Características de la zona de ubicación de la planta.....	20
1.1.4.3 Redes de comunicación	21
1.1.4.4 Información general sobre Tarragona.....	22
1.1.5 Abreviaturas.....	24
1.2 MÉTODOS DE OBTENCIÓN	26
1.2.1 Introducción.....	26
1.2.2 Procesos de obtención del alfa-naftol.....	26
1.2.2.1 Nitración + hidrogenación + hidrólisis.....	26
1.2.2.2 Proceso Union Carbide	27
1.2.3 Usos del 1-naftol.....	27
1.3 DESCRIPCIÓN DETALLADA PROCESO DE PRODUCCIÓN	29
1.3.1 Nitración del naftaleno	29
1.3.1.1 Primera etapa de separación	33
1.3.1.1.1 Separador flash (FS-204).....	33
1.3.1.1.2 Tratamiento de la mezcla $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}$	34
1.3.1.1.3 Destilación continua (DC-205).....	35
1.3.1.1.4 Tratamiento de la mezcla 2-nitronaftaleno / 1,5-dinitronaftaleno ..	36
1.3.2 Hidrogenación del 1-nitronaftaleno.....	37
1.3.2.1 Destilación continua (DC-302).....	40
1.3.2.2 Recuperación y recirculación del iso-propanol	41
1.3.3 Hidrólisis de la naftilamina.....	42
1.3.4 Cristalización y obtención del 1-naftol.....	46
1.3.4.1 Decantación del 1-naftol.....	46
1.3.4.2 Cristalización del 1-naftol	47
1.4 CONSTITUCIÓN DE LA PLANTA	49
1.4.1 Descripción de las áreas	49

1.4.2	Horario y plantilla de trabajo.....	51
1.4.3	Programación temporal de la construcción de la planta	55
1.4.4	Programación temporal del proceso de producción	58
1.5	BALANCE DE MATERIA.....	62
1.6	ESPECIFICACIONES Y NECESIDADES DE SERVICIO	74
1.6.1	Agua de red.....	74
1.6.2	Agua de refrigeración	75
1.6.3	Grupos de frío.....	76
1.6.4	Agua descalcificada.....	77
1.6.5	Aceite térmico.....	78
1.6.6	Gas natural.....	78
1.6.7	Aire comprimido	79
1.6.8	Electricidad.....	80
1.6.8.1	Introducción.....	80
1.6.8.2	Cableado	80
1.6.8.3	Elementos de seguridad	80
1.6.8.3.1	Fusibles.....	81
1.6.8.3.2	Interruptores magnetotérmicos	81
1.6.8.3.3	Interruptores diferenciales	81
1.6.8.3.4	Contactor	81
1.7	BIBLIOGRAFÍA	82

1.1. Bases del proyecto

1.1.1. Bases del proyecto

El objeto del proyecto es el diseño de una planta de producción de alfa-naftol y el correspondiente estudio de la viabilidad de la construcción y operación de esta planta.

El alfa-naftol se fabricará en una planta dentro de un complejo industrial destinado a la fabricación de SEVIN® y se obtendrá a partir del proceso de nitración del naftaleno y el ácido nítrico para dar 1-nitronaftaleno. Posteriormente, se realizará la hidrogenación del 1-nitronaftaleno para dar 1-naftilamina que, por último, se hidrolizará para dar el 1-naftol o α -naftol (AN).

El proyecto incluye como mínimo las siguientes áreas:

- Áreas de proceso y reacción para la producción de alfa-naftol.
- Áreas de almacenamiento de materias primas y zona de carga y descarga.
- Almacenamiento de producto acabado.
- Áreas de servicios.
- Oficinas, laboratorios y vestuarios específicos para la planta.
- Áreas auxiliares (contra incendios, depuración de aguas y gases).

1.1.2. Especificaciones de la producción

La capacidad de producción de la planta de alfa-naftol será de 10.000 toneladas anuales, 8.000 de las cuales se destinarán a la fabricación del SEVIN®, y las 2.000 restantes para venta externa.

La planta estará operativa 300 días al año, el resto de días se dedicarán a los periodos de parada de la planta así como del mantenimiento de la misma. De esta forma, el nivel de producción es de aproximadamente 33.3 toneladas diarias de 1-naftol.

La presentación del producto acabado será sólido cristalino en big bags de 1.000 kg.

1.1.3. Alcance del proyecto

El alcance del proyecto será el siguiente:

- Diseño y especificaciones de los equipos presentes en el proceso.
- Diseño del sistema de control necesario para asegurar el correcto funcionamiento de la planta.
- Diseño de las medidas de seguridad necesarias para la planta, así como las medidas de protección individual de los trabajadores.
- Cumplimiento de la normativa y legislación pertinente.
- Evaluación económica de la planta.

1.1.4. Localización geográfica de la planta

1.1.4.1. Características del polígono industrial

- El proyecto de la planta de producción del alfa-naftol se llevará a cabo en un terreno ficticio en el Polígono Industrial ‘Escritores’ en el término municipal de Tarragona.
- El proyecto deberá cumplir la normativa urbanística (ficticia) del Polígono Industrial ‘Escritores’ de Tarragona, en lo que hace referencia a retranqueos a viales y vecinos, altura de edificios, ocupación de parcela y edificabilidad.
- La parcela tiene una superficie total de 53.235 m².
- En cuanto a la normativa sectorial, el proyecto deberá cumplir la normativa aplicable, con especial aplicación en la urbanística, de medioambiente y de protección contra incendios.

A continuación, se muestran los parámetros de edificación en el Polígono Industrial ‘Escritores’.

Tabla 1.1.4.1. Parámetros de edificación.

Edificabilidad	2 m ² techo / m ² suelo
Ocupación máxima de parcela	80%
Ocupación mínima de parcela	25% de la superficie de ocupación máxima
Retranqueos	5 m a viales y vecinos
Altura máxima	15 m y 3 plantas excepto en producción justificando la necesidad por el proceso
Altura mínima	4 m y 1 planta
Aparcamientos	1 plaza / 200 m ² construidos
Distancia entre edificios	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5 m

1.1.4.2. Características de la zona de ubicación de la planta

Uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de escoger la ubicación del emplazamiento de una planta industrial es que el lugar escogido disponga de una buena comunicación y accesibilidad.

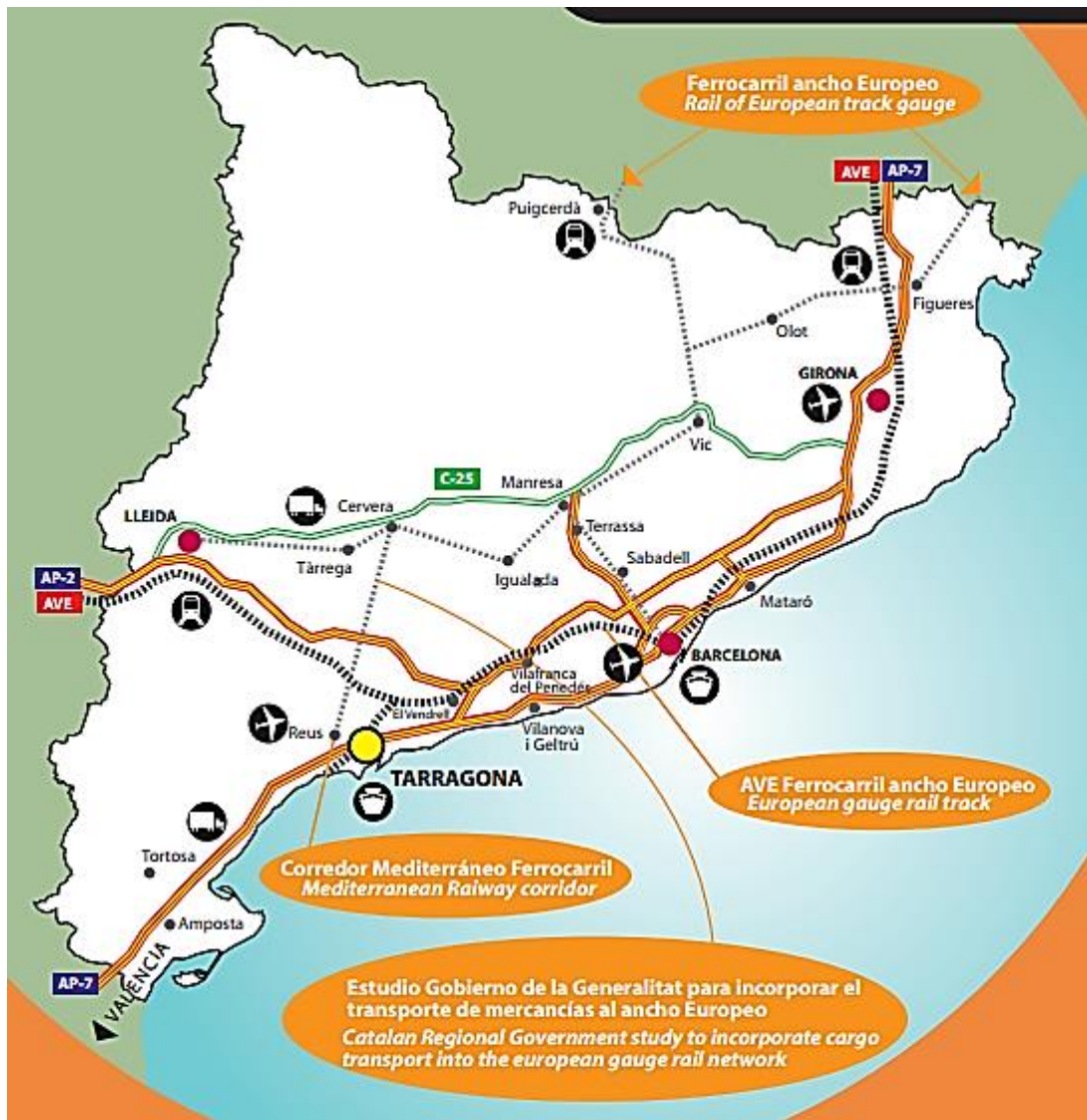
De esta forma, el Polígono Industrial ‘Escritores’ presenta las siguientes ventajas:

- Accesibilidad marítima: situado a escasos kilómetros del Puerto de Tarragona.
- Accesibilidad aérea: situado a apenas 10 kilómetros del Aeropuerto de Reus.
- Accesibilidad ferroviaria: cercanía a la Estación de Ferrocarriles de Tarragona.

1.1.4.3. Redes de comunicación

A continuación, se presenta un mapa donde se indican las principales vías de acceso tanto marítimas, aéreas como terrestres al municipio de Tarragona.

Figura 1.1.4.2.1. Redes de comunicación.



- Red marítima

La ciudad de Tarragona dispone de uno de los puertos marítimos más importantes de la costa mediterránea. Gran parte de la actividad de este puerto está relacionada con el transporte industrial o de mercancías.

- Red aérea

Tarragona presenta una buena comunicación aérea dada la proximidad del Aeropuerto de Reus. Además, a unos 80 kilómetros se encuentra el Aeropuerto del Prat de Barcelona, uno de los aeropuertos más importantes de España.

- Red ferroviaria

Tarragona tiene una buena comunicación ferroviaria a nivel de media y larga distancia gracias a que es un enclave ferroviario del Corredor Mediterráneo.

- Red de carreteras

Finalmente, el término municipal de Tarragona dispone de una buena comunicación por carretera, ya que por ella pasa la AP-7, autopista que une la ciudad de Valencia con la ciudad de Barcelona.

1.1.4.4. Información general sobre Tarragona

Tarragona es una ciudad y municipio del sur de Cataluña, España, capital de la provincia de Tarragona y de la comarca del Tarragonés. Se encuentra a 68 metros sobre el nivel del mar y tiene una extensión de 55.35 km².

Tarragona tiene 140.323 habitantes (2009) y su área metropolitana tiene un total de 456.042 habitantes.

Los 15 principales núcleos de población son: Centro Ciudad eixample, Parte Alta, Riu Clar, Parc Riuclar, La Floresta, Icomar, Bonavista, Torreforta, La Granja, Campclar, El Pilar, Sant Salvador, Sant Pere y Sant Pau, Llevant y Serrallo.

En lo que hace referencia a la climatología, destacar que Tarragona presenta un clima Mediterráneo típico. Las características más importantes de su clima son:

- La temperatura media anual supera ligeramente los 16°C. Las temperaturas máximas en los días más calurosos no acostumbran a superar demasiado los 30°C.

1. Especificaciones del proyecto

- Las precipitaciones alcanzan apenas los 500 mm y son irregulares (51 precipitaciones al año aproximadamente). Estas precipitaciones adquieren un carácter tormentoso sobre todo en verano y otoño.
- Los inviernos son suaves y los veranos son calurosos.
- Las heladas son poco frecuentes.
- El viento dominante es el Mestral (NW), seco y frío si es de componente marcado del N y más suave, incluso casi cálido, a medida que domina el componente W. En verano suele predominar un régimen de brisas.

1.1.5. Abreviaturas

A continuación, se presenta la serie de abreviaturas de los equipos utilizados a lo largo del proyecto:

Tabla 1.1.5.1. Abreviaturas de equipos.

Equipo	Código
Reactor	R
Torre de destilación	DC
Intercambiador	EX
Separador flash	FS
Bomba	CP
Compresor	CMP
Tanque de almacenamiento	T
Tanque pulmón	BT
Agitador	AG
Decantador	DCT
Caldera	CAL
Chiller	CH
Torre de refrigeración	TR
Centrífuga	CTF
Hidrogenador	HR
Secador de aire	DRY
Ciclón	CYL
Mezclador	MIX
Decantador centrífugo	DCTCF
Pervaporación	PERVP

Tabla 1.1.5.2. Abreviaturas de materiales.

Material	Código
AISI 316	AI6
AISI 304	AI
Acero al carbono	AC

Tabla 1.1.5.3. Abreviaturas de compuestos.

Sustancia	Código
Naftaleno	NFT
Ácido nítrico	HNO3
1-Nitronaftaleno	1NFT
2-Nitronaftaleno	2NFT
di-nitronaftalenos	DNFT
Agua	AG
Isopropanol	ISP
Hidrógeno	H
Naftilamina	NFTA
Ácido sulfúrico	AS
Amoníaco	AM
Vapor	S
Aceite térmico	HOT OIL
Mezcla líquida 1-nitronaftaleno	ML1N
Nítrico, nitronaftaleno y agua	NNA
Mezcla nitronaftalenos	MN
Naftilamina, isopropanol y agua	NIA
Isopropanol y agua	IA
Mezcla líquida 1-naftol	ML1NF
Agua, sulfato y sulfúrico	ASS
1-Naftol	1NF

1.2. Métodos de obtención

1.2.1. Introducción

El 1-naftol o α -naftol es un compuesto orgánico fluorescente de forma molecular $C_{10}H_7OH$. Es un sólido cristalino blanco e isómero del 2-naftol difiriendo en la localización del grupo hidroxilo en el anillo de naftaleno.

Los naftoles son naftalenos homólogos del fenol, con el grupo hidroxilo más reactivo que en el caso de los fenoles. Ambos isómeros son solubles en los alcoholes comunes, éteres y cloroformo. Son precursores de una gran variedad de compuestos útiles.

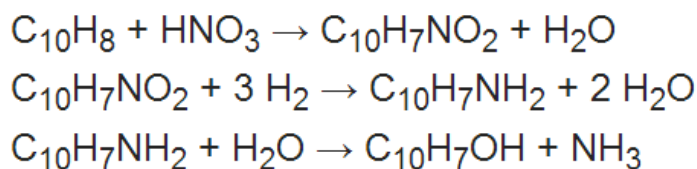
1.2.2. Procesos de obtención del alfa-naftol

Históricamente, el 1-naftol se producía mediante la fusión cáustica del naftaleno y el ácido sulfónico, pero este proceso fue sustituido por el proceso I.G. Farbenindustrie mediante la hidrólisis de la 1-naftilamina o 1-aminonaftaleno con una solución acuosa de ácido sulfúrico al 22% a $200^{\circ}C$ y bajo presión en una autoclave revestido con plomo [1].

Hoy en día, el 1-naftol se obtiene mediante dos rutas o procesos diferentes.

1.2.2.1. Nitración + hidrogenación + hidrólisis

El primero de los métodos es la nitración del naftaleno, seguida de la hidrogenación del 1-nitronaftaleno y, finalmente, la hidrólisis de la naftilamina:



Esta vía de obtención del 1-naftol o alfa-naftol será la que se empleará en el desarrollo del proyecto.

1.2.2.2. Proceso Union Carbide

Por otra parte, con el fin de obtener un producto más puro, Union Carbide desarrolló un proceso basado en la oxidación catalítica de la tetralina para dar 1-tetralona seguida de una deshidrogenación [2]. Este proceso catalítico de dos etapas permite obtener un rendimiento global del 72% de 1-naftol, con una eficiencia global del 97%.

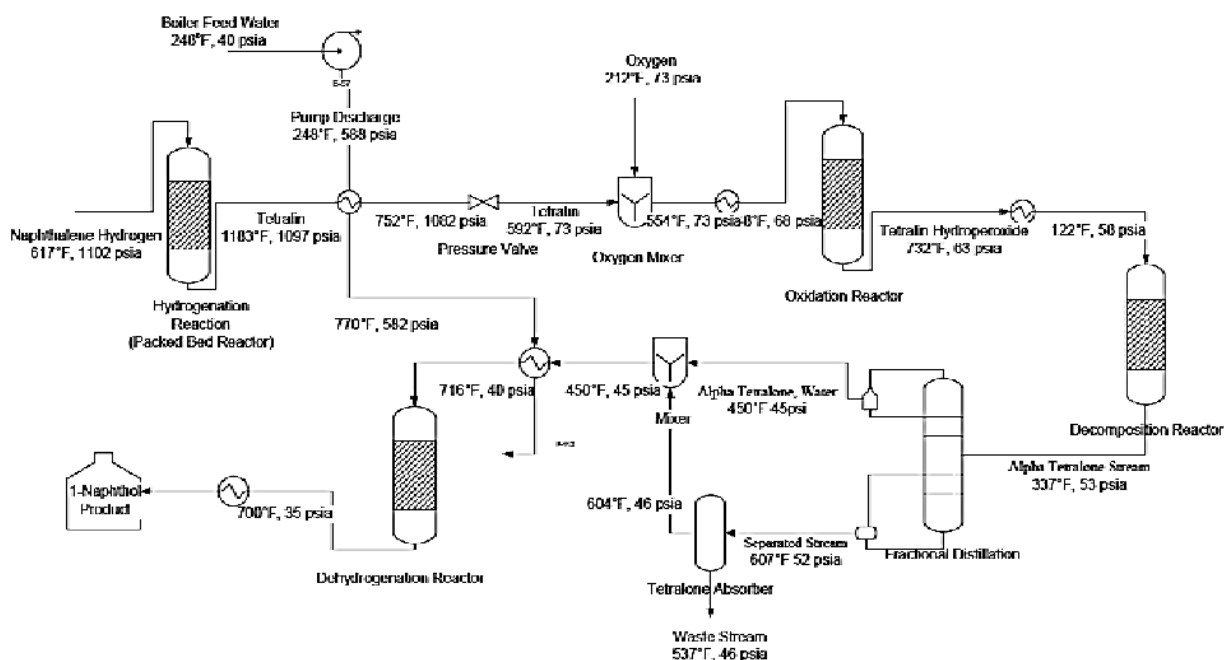


Figura 1.2.2.2.1. Producción de 1-naftol a partir de naftaleno. Proceso Union Carbide (Ajiboye 2007). [3]

1.2.3. Usos del 1-naftol

Entre los principales usos del alfa-naftol se encuentran los siguientes.

En primer lugar, existen muchos productos agroquímicos derivados del 1-naftol. El ácido 1-naftoxiacético se prepara mediante alquilación acuosa con ácido cloroacético. Aunque el ácido 2-naftoxiacético parece ser bastante más utilizado, trabajos recientes [4] sugieren que los 1-isómeros, especialmente el 1-naftoxiacético tienen una mayor actividad como herbicida.

Devrinol [15299-99-7], el herbicida de Stauffer 2-(1-naftoxi)-N,N-dietilpropionamida, se obtiene mediante la reacción del 1-naftol con N,N-dietil- α -bromopropionamida en MeOH-NaOMe a reflujo [5].

Por otra parte, uno de los principales usos del 1-naftol es ser la materia prima del Sevin®. El Sevin® es un insecticida producido por Union Carbide basado en el 1-naftil metilcarbamato [63-25-2], Carbaryl, el cual se produce a partir de 1-naftilo cloroformiato y metilamina [6], o mediante la reacción del 1-naftol con isocianato de metilo. Su uso principal está en el control de los gusanos de tierra y orugas. Se han patentado muchos análogos y derivados del Carbaryl [7].

Además, algunas drogas importantes también son derivadas del 1-naftol. El éster 1-naftilo salicilato [550-97-0], Alphol, se utiliza como antiséptico y antirreumático, y el ICI's 1-isopropilamino-3-(1-naftoxi)-2-propanol [3506-09-0], Inderal, es un importante miembro de una nueva clase de bloqueadores adrenérgicos β para el tratamiento de enfermedades del corazón.

Finalmente, en el test de Molisch, el 1-naftol disuelto con etanol, conocido como reactivo de Molisch, se utiliza como reactivo para la detección de presencia de carbohidratos.

1.3. Descripción detallada del proceso de producción

El proceso de producción del alfa-naftol consiste básicamente en tres reacciones principales: nitración, hidrogenación e hidrólisis.

A continuación, se explica detalladamente este proceso y, con el fin de hacerlo más entendedor, se añaden anotaciones de la instrumentación utilizada en cada momento. Por esta razón, es necesario seguir los P&ID's expuestos en el apartado 10 del presente proyecto.

1.3.1. Nitración del naftaleno [8]

La primera de las etapas en la producción de alfa-naftol se corresponde con una reacción de nitración entre el naftaleno (de alta pureza >99%) y el ácido nítrico (63%) para dar nitronaftaleno y agua como productos.

De esta forma, la nitración tiene lugar en dos reactores agitados (R-201 & R-202) de 12.8 m³ aproximadamente. En esta primera reacción, se opera en discontinuo y, al disponer de dos reactores, se consiguen realizar un gran número de *batch's* o lotes al día; exactamente se realizarán 9 lotes diarios con el fin de cumplir las necesidades de producción.

Como ya se ha dicho en el párrafo anterior, el modo de operación es en discontinuo. Sin embargo, se debe puntualizar que no se trata de un modo discontinuo puro, ya que se adiciona constantemente HNO₃. Por esta razón, el modo de operación se asemeja más a un proceso *fed-batch*.

En este proceso no se utiliza ningún ácido aparte del nítrico, lo que hace que éste sea mucho menos contaminante y más adecuado ambientalmente. Además, dado al ratio molar bajo entre HNO₃ y el naftaleno, así como la alta concentración del ácido, se consiguen reducir las cantidades de residuos acuosos y se elimina la necesidad de reciclar el ácido.

El proceso, por ejemplo para el reactor R-201, se lleva a cabo de la siguiente manera:

En primer lugar, se carga el naftaleno (sólido), mediante un polipasto, en el reactor a través del embudo de adición de sólidos y se calienta a la temperatura de fusión de éste

(81°C), con el fin de que pase ha estado líquido. Así, para provocar el aumento de la temperatura en el reactor, se abre la válvula de bola automática TCV-201 que hace circular el vapor por la media caña.

Por otra parte, se debe controlar la temperatura y la presión a partir de la lectura de los sensores TT-201 y PT-201, respectivamente.

Una vez llegados a este punto, es necesario exponer algunas de las características más importantes de operación:

- Se ha decidido fundir el naftaleno en el mismo reactor porque así se evita la instalación de otro depósito y se consigue mayor facilidad operacional.
- Para conseguir llegar a esta temperatura se opta por dotar al reactor de una media caña por la que se hace circular vapor a 8 bar de presión.
- La elección de la media caña viene influenciada por la necesidad tanto de aportar calor (fundir el naftaleno) como de eliminar calor de la mezcla reactante (control de la temperatura) en esta primera etapa de reacción.

Una vez el naftaleno está completamente homogéneo en estado líquido, se activa la agitación y se añade (abrir válvula AV-201), uniformemente en el tiempo, el HNO_3 al 63% durante un periodo de aproximadamente una hora. Destacar que:

- La relación molar HNO_3 /naftaleno es de 1,07/1. Con este exceso de ácido nítrico, se asegura de que el naftaleno reacciona completamente.
- Aunque la patente mencione que la nitración tiene mayor grado de eficacia a altas concentraciones de HNO_3 , se decide utilizar el HNO_3 al 63% porque es una de las concentraciones más comunes a las que un proveedor suele suministrar dicha materia prima.
- La reacción es exotérmica por lo que se desprenderá calor a medida que la reacción tenga lugar. Como es obvio, este desprendimiento o generación de calor es mayor al inicio de la reacción. Sin embargo, al desconocer la

1. Especificaciones del proyecto

cinética de dicha reacción, se establece que esta generación de calor es uniforme en el tiempo. Con esto se consigue simplificar los cálculos de las necesidades de refrigeración que se mostrarán en el apartado de cálculos.

- Para calcular el calor que genera la reacción se determina la entalpía de reacción (KJ/mol naftaleno) a partir de los calores de generación de las especies presentes y se multiplica por el número de moles presentes, en cada *batch*, de este reactivo limitante.
- Para la refrigeración de los reactores R-201 & R-202 se utiliza agua proveniente de un *chiller* o grupo de frío a una temperatura inicial de 5 °C, y se establece que el salto térmico máximo permisible de esta agua es hasta los 20 °C.

Si la temperatura del agua que volviese a la torre de refrigeración fuera mayor, esta torre acabaría estropeándose debido a que trabajaría por encima de su temperatura de diseño.

Así, esta agua entra en la media caña de los reactores por las válvulas TCV-201 y TCV-203 y la regulación de dicho caudal variará en función de la temperatura que indiquen los transmisores de temperatura TT-201 y TT-202 que actuarán sobre sus respectivos controladores y harán variar el porcentaje de apertura de cada válvula de entrada de este agua de refrigeración.

De esta forma, se deja reaccionar la mezcla inicial durante un tiempo de reacción de cuatro horas en total, correspondiéndose a una hora de adición del ácido y tres horas de reacción posteriores.

En lo que respecta a la agitación, destacar que ésta debe ser eficiente durante todo el proceso con el fin de conseguir un grado de mezcla adecuado.

Durante el periodo de reacción, la temperatura de operación debe estar entre 50-85°C, preferiblemente entre 55-70°C (según muestran los diferentes experimentos expuestos en la patente escogida). De acuerdo con el experimento escogido en concreto, se opta

por una temperatura del reactor durante la adición del ácido de 70-86°C y una temperatura después de esta adición de 70°C. Para una mayor sencillez operacional, se decide que el reactor sea isotermo una vez fundido el naftaleno, y que la temperatura de operación sea de 70°C.

De esta forma, a medida que se añada el ácido nítrico a 25°C, la temperatura de la mezcla tiende a descender. Sin embargo, debido al carácter exotérmico de la reacción, este descenso se compensa como consecuencia de esta liberación/generación de calor. Por lo tanto, se debe instalar un control de temperatura que permita mantener la temperatura constante en 70°C variando el caudal de entrada de agua de refrigeración.

Destacar que, aunque las condiciones de la temperatura de la reacción no sean exactamente las mismas que las citadas por la patente, se considera una buena elección el trabajar con las condiciones elegidas.

Una vez terminada la reacción, el grado de conversión alcanzado según el experimento de la patente es del 97,9 %. Sin embargo, al trabajar con un exceso de ácido nítrico, se considera que las cuatro horas de reacción son suficientes para obtener un grado de conversión deseado del 100 %. En caso de que este tiempo no fuera suficiente, se dejaría reaccionar más tiempo.

Así, al dejar un mayor tiempo de reacción, se consigue que el naftaleno reaccione por completo, hecho que provoca una mayor producción de nitronaftaleno y se elimina la necesidad de una etapa intermedia de separación del naftaleno. Por lo tanto, se ahorran costes al no tener la necesidad de separar este compuesto.

En cuanto a los productos formados, mencionar que se forma una mezcla racémica del nitronaftaleno (producto de interés), cuya composición másica es la siguiente:

1-nitronaftaleno	94 %
2-nitronaftaleno	4,7 %
di-nitronaftalenos	1,3 %

Por lo tanto, se observa cómo, consecuencia de las condiciones de operación, el nivel de producción del producto de interés (1-nitronaftaleno), es mucho mayor comparado con los otros dos.

Por último, mencionar que la patente indica que se forman, en proporción másica, 1,3 kg de di-nitronaftalenos por cada 100 kg de nitronaftalenos formados. Sin embargo, no detalla qué tipo de di-nitronaftalenos se trata. En este caso, se ha considerado que el di-nitronaftaleno formado será el 1,5-dinitronaftaleno.

1.3.1.1. Primera etapa de separación

Una vez acabada esta primera etapa del proceso, se envía, a través de las bombas CP-201 & CP-202, la mezcla final a un tanque pulmón (BT-203) de recogida de producto intermedio. La razón de la instalación de dicho tanque radica en la necesidad de operar en continuo a partir de este punto del proceso.

En esta etapa de separación, decir que se podría trabajar igualmente en discontinuo pero, dado que se forman dos isómeros cuyos puntos de ebullición muy parecidos, se ha elegido trabajar en continuo para ahorrar costes y conseguir que el proceso de separación sea mucho más sencillo.

De esta forma, se consiguen reducir considerablemente tanto las dimensiones de los equipos principales (separador flash, torre de destilación...) como los costes energéticos y el tiempo de operación.

1.3.1.1.1. Separador flash (FS-204)

Una vez ya se ha recogido toda la mezcla reactiva en el primer tanque pulmón (70°C y 1 atm), ésta se hace circular al primer separador flash (FS-204) mediante la bomba centrífuga CP-203.

El separador flash no es nada más que un evaporador de una etapa de equilibrio que permite separar una mezcla gas-líquido. Así, se instala una válvula de expansión (AV-208) a la entrada de dicho equipo y se sube la temperatura de esta mezcla hasta los 105°C, hecho que permite separar el ácido nítrico y el agua (compuestos más volátiles) de las demás sustancias con un punto de ebullición mayor.

Así, a la salida de la corriente de cabezas del separador flash, se instala un intercambiador de calor que permite condensar el vapor y, posteriormente, una bomba centrífuga (CP-204) envía la corriente ya condensada al decantador centrífugo DCTCF-1003. Es decir, la mezcla entra a 1 atm, y el HNO_3 y el H_2O salen como vapor por la parte superior de este separador y se condensan hasta los 25°C .

Sin embargo, la corriente de interés que contiene el 1-nitronaftaleno, es el que sale por colas, y que está mayoritariamente en estado líquido. Esta corriente contiene además el 2-nitronaftaleno, el 1,5-dinitronaftaleno y el ácido nítrico y el agua que no se han evaporado.

El diseño del separador flash y el correspondiente intercambiador de calor se han realizado mediante la herramienta de simulación de procesos ASPEN HYSYS®.

1.3.1.1.2. Tratamiento de la mezcla HNO_3 / H_2O

La corriente de vapor que sale del separador flash FS-204 está compuesta básicamente por agua y ácido nítrico junto con 1-nitronaftaleno en suspensión. Una vez enfriada, se llevará a un decantador centrífugo para conseguir la separación de estos sólidos.

La separación de los sólidos en suspensión se consigue gracias a la fuerza centrífuga que proporciona un rotor. Al alcanzar la velocidad de rotación de operación, los sólidos irán depositándose en la parte interior del rotor, mientras en el líquido irá avanzando a lo largo del cilindro y saldrá por el lado opuesto del de entrada.

Una vez separados los sólidos en suspensión, se procede a la separación del ácido nítrico y agua, cuya concentración es del 7.5%, siendo la necesaria para el proceso del 63%. Para ello el equipo utilizado es la pervaporación.

La pervaporación es una tecnología de membranas utilizada para separar mezclas líquidas, especialmente la deshidratación de alcoholes. Se trata de un proceso en el cual una mezcla líquida se pone en contacto con una membrana selectiva y uno de los componentes de la mezcla se transporta mediante permeación preferencial a través de la membrana, saliendo en fase vapor del otro lado de la membrana. Debido a que sólo es necesario evaporar una mezcla, el consumo de calor latente es inferior al requerido en la

destilación, lo cual representa una gran ventaja de la pervaporación en la separación de azeótropos.

La pervaporación tiene lugar en tres etapas fundamentales: adsorción de los componentes de la mezcla líquida en la membrana, difusión de los compuestos absorbidos a través de la membrana y desorción en el lado del permeado, con un efecto calorífico.

La fuerza impulsora de la transferencia de la materia a través de una membrana de pervaporación es el gradiente de potencial químico del componente que permea desde el líquido de alimentación hasta el vapor permeado.

1.3.1.1.3. Destilación continua (DC-205)

Por otra parte, la corriente de colas del primer separador flash se hace circular mediante la CP-205 a la primera destilación continua del proceso de producción del 1-naftol.

Previamente, el contenido se enfría hasta los 80°C en un intercambiador de calor por el que circula por carcasa agua de refrigeración a 30°C de temperatura de entrada. Este es un paso muy importante, ya que hay que tener cuidado en que la temperatura no baje por debajo de los 59°C que es la temperatura de fusión del 1-nitronaftaleno. Por esta razón, se instala un control de temperatura.

El objetivo de esta primera torre de destilación (DC-205) es separar el 1-nitronaftaleno del 2-nitronaftaleno obteniendo la mayor concentración del primero por el corriente de destilado.

Los puntos de ebullición del 1-nitronaftaleno 2-nitronaftaleno y 1,5-dinitronaftalenos son:

Tabla 1.3.1.1.3.1. Temperaturas de ebullición isómeros.

	1-nitronaftaleno	2-nitronaftaleno	1,5-dinitronaftaleno
T _{eb.} (K)	577	592	663

Se diseña la torre de destilación mediante el ASPEN HYSYS®.

En primer lugar, se realiza el diseño de una torre *Shortcut* que permite obtener una primera aproximación de las características de operación principales de dicha torre para, más tarde, realizar un diseño mucho más riguroso.

A continuación, se exponen las características principales de esta columna:

- Operación en **continuo**.
- Relación de reflujo externa constante $\rightarrow L/D = 15$.
- Número de etapas de equilibrio = **56 + reboiler + condensador**.

Por lo tanto, por el destilado se obtiene continuamente una corriente de composición mayoritaria en 1-nitronaftaleno, y que contiene el agua y el ácido nítrico no separados en el flash. También, contiene algo de 2-nitronaftaleno pero de composición mínima comparada con las otras sustancias.

Por otra parte, por la corriente de colas se consigue separar el 1,5-dinitronaftaleno en su totalidad así como casi todo el 2-nitronaftaleno. Esta corriente se envía a un gestor (se detallará en la parte de medioambiente).

Una vez se consigue separar el 1-nitronaftaleno de sus isómeros, se envía la corriente de destilado a la segunda de las etapas del proceso de producción del alfa-naftol, la hidrogenación.

1.3.1.1.4. Tratamiento de la mezcla 2-nitronaftaleno / 1,5-dinitronaftaleno

La mezcla que sale de la destilación rigurosa formada por di-nitronaftaleno, 2-nitronaftaleno y 1-nitronaftaleno se lleva a un depósito y una vez está a temperatura y presión ambiente, estos solidifican. Debido a que no se han encontrado salidas comerciales para estos compuestos y no se trata de un residuo asimilable a uno de municipal, se tienen que seguir una serie de pasos con tal que el residuo se gestione correctamente a través de plantas externas (gestores autorizados). En el apartado de medio ambiente, se explican los pasos que hay que seguir con tal de poder enviar los compuestos a un gestor.

1.3.2. Hidrogenación del 1-nitronaftaleno [9]

En esta segunda reacción se consigue hidrogenar el 1-nitronaftaleno, que se obtiene por la corriente de destilado de la primera columna de destilación, para dar naftilamina como producto principal. Este hidrogenador (HR-301) trabaja en continuo y su volumen es de 5.7 m^3 aproximadamente.

De acuerdo con la patente, el nivel de pureza de este 1-nitronaftaleno debe ser como mínimo de 10 ppm en 2-nitronaftaleno. El 2-nitronaftaleno presente en el destilado hace que la concentración de este destilado, que entra en la hidrogenación, tenga una fracción másica en 2-nitronaftaleno de $1,2 \cdot 10^{-7}$. Por lo tanto, se cumplen las premisas impuestas por la patente para poder llevar a cabo la hidrogenación.

Si la concentración de 2-nitronaftaleno fuera superior a 10 ppm se produciría una reacción no deseada y se formaría el otro isómero, la 2-naftilamina que acabaría formando el 2-naftol o beta-naftol (producto de no interés).

De esta forma, mediante la apertura de la válvula automática AV-302 se añade una corriente de disolvente que se junta con el proveniente de la DC-205 en un mezclador (MIX-305).

La razón de instalar un mezclador radica en el hecho de que se desea conseguir un buen grado de mezcla entre el fluido de proceso y el disolvente así como el hecho de que haya después una bomba que comprime la corriente líquida. De esta forma, si el mezclador no estuviera, dicha bomba podría crear vacío y, por lo tanto, problemas graves en el proceso.

Así, la corriente que sale de este mezclador se comprime a 100 bar mediante la bomba CP-301 y, posteriormente, se envía al hidrogenador previo paso por un intercambiador EX-301 por el que circula aceite térmico, y que permite aumentar la temperatura de la mezcla de entrada a este hidrogenador hasta los 190°C .

Las características de la corriente de disolvente son:

- El disolvente escogido es una mezcla iso-propanol – agua, al 15% en peso de agua.
- La cantidad de disolvente añadido debe estar entre 1 y 5 partes en peso por 1 de 1-nitronaftaleno, preferiblemente entre 1,5 y 3.
- En este caso, se escoge 1 parte en peso de disolvente por cada parte en peso de 1-nitronaftaleno para poder reducir el volumen del hidrogenador.

Por lo que respecta al hidrogenador, destacar que:

- Es un reactor catalítico.
- El catalizador utilizado será un carbón activo rociado con platino. Así, la cantidad de platino presente en el soporte del carbón activo es del 2% en peso.
- La cantidad de catalizador fresco utilizado es de 4 a 8 veces por kmol de 1-nitronaftaleno consumido.
- A medida que se consume o desactiva el catalizador, se debe ir reponiendo éste con una cantidad de catalizador fresco/nuevo de aproximadamente 0,05 a 0,1 kg por hora.
- La entrada de hidrógeno se realiza por la parte inferior del reactor y estas burbujas de gas reaccionarán a medida que ascienden por el mismo. Así, el hidrógeno que no ha reaccionado se recirculará de nuevo al reactor.

En lo que se refiere al catalizador, éste se explicará más detalladamente en la parte de descripción de equipos.

Por otra parte, las condiciones de operación de esta segunda reacción son:

- Temperatura de operación de 190°C. Proceso isoterma.
- Presión de 100 bar. La presión alcanzada se logra mediante el hidrógeno y la mezcla proveniente del MIX-305 que han pasado, previamente, por un compresor (CMP-301) y por bomba CP-301, respectivamente. Estos equipos permiten aumentar la presión del hidrógeno y de la mezcla de entrada hasta los 100 bar.
- La reacción es exotérmica, por lo que se debe controlar la temperatura con el fin de que ésta sea constante. El control de la temperatura se realiza a través de la sonda y controlador TT-301 y TC-301 que actúan sobre las válvulas TCV-301 (vapor) y TCV-302 (agua de refrigeración).
- El tiempo de residencia es de treinta minutos.
- El grado de conversión conseguido es mayor al 99,5%. Por esta razón, se hace la simplificación de que éste sea del 100%. Se considera que el error de esta simplificación es mínimo debido al alto grado de conversión especificado por la patente.

Finalmente, por la parte superior del hidrogenador sale la corriente compuesta por las siguientes sustancias:

- Naftilamina.
- Isopropanol.
- Agua.
- Ácido nítrico.
- 2-nitronaftaleno que no ha reaccionado.

Destacar que, como la cantidad de 2-nitronaftaleno presente en esta reacción es ínfima comparada con la de los demás compuestos, se considera que no se forma el isómero 2-naftilamina.

Ahora bien, para poder seguir con el proceso de producción, se deben separar los compuestos de no interés. De esta forma, se envía dicho corriente a la segunda columna de destilación (DC-302).

1.3.2.1. Destilación continua (DC-302)

En primer lugar, la mezcla que proviene del hidrogenador está a presión (100 bar), por lo que se debe reducir esta presión hasta una atmósfera antes de entrar en la segunda destilación. La reducción de esta presión se logrará mediante válvulas reductoras de presión (en el apartado punto cuatro del presente proyecto se especificarán las características de estas válvulas).

De esta forma, la corriente de salida del hidrogenador se alimenta a la segunda columna de destilación a una presión de una atmósfera y temperatura de 90°C como consecuencia de la alta pérdida de presión que sufre esta corriente y que permite que se expanda y se vaporice una parte del líquido con el consiguiente enfriamiento de éste (aproximadamente 100°C).

En esta segunda torre, se consigue separar la naftilamina de los demás compuestos. Así, la naftilamina, cuyo punto de ebullición es de 574 K, se consigue separar por la corriente de colas debido a la diferencia tan alta de volatilidad respecto al agua y el isopropanol que salen por el destilado.

Los parámetros de operación principales de la DC-302 son:

- Operación en **continuo**.
- Relación de reflujo externa constante $\rightarrow L/D = 10$.
- Número de etapas de equilibrio = **3 + reboiler + condensador**.

Por una parte, la corriente de destilado, compuesta mayoritariamente por agua e isopropanol se envía a un subproceso donde se consigue recuperar el isopropanol para poder recircularlo de nuevo en la etapa de hidrogenación.

Por otra parte, la corriente de colas que está compuesto mayoritariamente por naftilamina se envía a un nuevo tanque pulmón (BT-303) donde se almacena antes de entrar en la última de las etapas de reacción, la hidrólisis.

Finalmente, como la carga de los reactores de hidrólisis se hará cada cuatro horas, para que la mezcla contenida en el BT-303 no se enfríe, éste se aislará con un aislante térmico.

1.3.2.2. Recuperación y recirculación del iso-propanol

La corriente del destilado de la columna de separación está formada por agua e isopropanol. El isopropanol debe recuperarse para ser reutilizado como disolvente en el reactor de hidrogenación, para ello es necesario deshidratarlo para conseguir una concentración del 85%. El método elegido y más utilizado en la industria a la hora de la deshidratación de alcoholes es la pervaporación. Este proceso ya ha sido explicado en el apartado de la separación de ácido nítrico y agua, por lo que el funcionamiento es el mismo. Este proceso, permite obtener el isopropanol a una concentración prácticamente del 100% y seguido se le añadirá el agua necesaria para obtenerlo a la concentración deseada del 85%.

1.3.3. Hidrólisis de la naftilamina [10]

La última de las tres reacciones se corresponde con la hidrólisis de la naftilamina para obtener el 1-naftol o alfa-naftol.

En este caso, se trabaja con dos reactores perfectamente agitados (R-401 & R-402) de unos 14.2 m³ aproximadamente que operan en discontinuo. Así, se realizarán hasta 6 *batch*'s o lotes diarios.

Al trabajar en continuo en las etapas intermedias y estar esta última etapa en discontinuo, es necesaria la instalación de un tanque pulmón (BT-303) que permita alimentar estos dos últimos reactores.

Se muestran en la siguiente tabla las proporciones másicas de los reactivos iniciales impuestas por la patente escogida:

Tabla 1.3.3.1. Proporciones másicas reactivos. Hidrólisis de la naftilamina.

	Proporción másica
1-naftilamina	1
Ácido sulfúrico (98%)	0,7
Agua	3

Sin embargo, la proporción másica de agua necesaria se considera excesiva, por lo que se establece una cantidad de agua en proporción másica de un 20% en exceso respecto a la estequiométricamente necesaria.

La razón de esta decisión radica en que se han analizado sus consecuencias y operaciones posteriores y se ha observado que el decantador de fases DCT-501 posterior no funcionaría correctamente, ya que el volumen de la fase líquida sería muy grande comparada con la fase acuosa.

Por otra parte, se generarían 120 m³ de una mezcla de sulfato de amonio, sulfúrico y agua al 10% en composición másica de sulfato de amonio, que sería inviable tanto para vender por su bajo contenido como para su envío a un gestor debido a la alta cantidad de volumen.

Por todas estas razones, se decide obviar los requerimientos de agua de proceso impuestos por la patente y se considera válido añadir un 20% de exceso de agua con el fin de que se pueda llevar a cabo la reacción correctamente.

Volviendo de nuevo al tema principal, en este caso, el ácido sulfúrico (98%) actúa como catalizador de la reacción, por lo que no se consume. Además, al trabajar con tanto exceso de agua, la corriente másica de agua que llega procedente de la anterior destilación no es suficiente como para cumplir esta necesidad. Por lo tanto, se debe instalar, en sendos reactores, una línea de entrada de agua fresca para poder llevar a cabo la reacción.

La entrada de ácido sulfúrico y de agua al sistema, se realizará a través de las válvulas FCV-401 y FCV-402, respectivamente.

Además, destacar que se produce simultáneamente y en serie una segunda reacción entre el ácido sulfúrico y el amoníaco producido para formar sulfato de amonio.

Las condiciones de operación de esta última reacción son las siguientes:

- Reacción exotérmica. La temperatura a la que se lleva a cabo la reacción es de 190°C. En este caso, la reacción de hidrólisis es exotérmica, mientras que la reacción para formar el sulfato de amonio es endotérmica. Sin embargo, predomina el carácter exotérmico de la primera, originando que, globalmente, la reacción sea exotérmica.
- Presión constante e igual a 13 bar. Este valor de presión se alcanza mediante un compresor de aire.
- Tiempo de reacción de 5 horas.
- Catalizador: ácido sulfúrico (98%).
- El grado de conversión conseguido es del 97,36%.

Por lo tanto, el procedimiento de operación será el siguiente:

- 1- Carga de la mezcla proveniente de la etapa anterior y del agua necesaria para llevar a cabo la reacción. Esta operación de carga tendrá una duración de 30 minutos como máximo: 30 minutos para el flujo de proceso y 10 minutos para el agua de proceso.
- 2- Acto seguido, se adiciona, durante media hora, el ácido sulfúrico al 98% que actúa como catalizador. La metodología de añadir el ácido en último lugar radica en el hecho de que, al trabajar con agua y ácidos concentrados, siempre se tiene que adicionar este último sobre el agua y no al revés. De esta forma, se consigue que no se produzca una reacción descontrolada. La temperatura a la que finalmente se tiene la mezcla es de 70 °C.
- 3- Aumento de la presión y temperatura del reactor hasta los 13 bar y 190 °C respectivamente. En primer lugar, se realiza el aumento de presión en un tiempo aproximado de 30 minutos y, posteriormente, se procede al aumento de la temperatura a través de la entrada de aceite térmico por la media caña del reactor. Esta última operación de calentamiento durará 30 minutos.
- 4- Inicio de la reacción. Una vez la temperatura y presión alcanzan los *set-point* deseados, se enciende la agitación y empieza la reacción.
- 5- Transcurridas las cinco horas de reacción, se descarga la mezcla y, de esta forma, se pasa a la etapa de purificación del 1-naftol.

Por otra parte, cabe destacar que la existencia de ácido sulfúrico concentrado propicia que el pH de la disolución sea ácido, hecho que provoca que el amoníaco formado no se encuentre en forma de amoníaco, sino en forma de ion amonio formando sulfato de amonio.

1. Especificaciones del proyecto

Finalmente, la mezcla pasa de nuevo por una válvula reductora de presión (PRV-401) que permite descender la presión desde los 13 bar hasta presión atmosférica. Este descenso provoca que la temperatura también descienda hasta los 179°C y, seguidamente, la mezcla pasa por el intercambiador EX-401 con el fin de bajar esta temperatura hasta los 98.5°C para que todo el contenido se encuentre en estado líquido.

Por lo tanto, la mezcla resultante de la hidrólisis se envía al proceso de purificación y cristalización del 1-naftol (área 500).

1.3.4. Cristalización y obtención del 1-naftol

En esta última etapa del proceso se consigue obtener el 1-naftol como sólido cristalino y con un grado de pureza alto.

Para conseguir poder vender el 1-naftol se debe separar, en primer lugar, del agua y el ácido sulfúrico y, por último, eliminar las impurezas que puedan quedar de otros compuestos para posteriormente solidificar/cristalizar el 1-naftol. Realizando esto, se consigue un 1-naftol de pureza elevada (>99%), sólido cristalino (forma prismática), ya listo para ser vendido.

1.3.4.1. Decantación del 1-naftol

En primer lugar, dado que en la mezcla proveniente de la última reacción coexisten la fase orgánica y la acuosa, se decide hacer pasar ésta por un decantador (DCT-501).

El tiempo de residencia de la mezcla en dicho decantador se establece en 10 min con el fin de asegurar que la decantación sea efectiva. Resaltar que se dispone de un tiempo máximo de cuatro horas entre *batch* y *batch* de hidrólisis. Por lo tanto, si no hubiera decantado del todo, se podría dejar la mezcla más tiempo con el objetivo de que se decante adecuadamente.

De esta forma, aprovechando la diferencia de densidades entre ambas fases, se consigue decantar el 1-naftol y la naftilamina (fase orgánica) del ácido sulfúrico, el agua, y el sulfato de amonio, que conforman la fase acuosa.

Como es lógico, la separación entre estas dos fases no es perfecta. Por esta razón, se ha escogido que una cierta cantidad de agua es arrastrada por la fase orgánica. Exactamente, se considera que esta cantidad de agua es del 2% respecto a la que hay en el decantador. Por lo tanto:

Por una parte, la fase pesada (fase acuosa), se separa por la parte inferior del decantador y se envía a un tanque de recogida de residuos líquidos. (Su tratamiento se detallará en el apartado de medio ambiente).

En cambio, la fase orgánica compuesta por el 1-naftol mayoritariamente, y por trazas de 2-nitronaftaleno y agua arrastradas en las etapas anteriores, se separa posteriormente por

la parte inferior de dicho decantador y se envía a la última etapa de purificación, la cristalización del 1-naftol.

1.3.4.2. Cristalización del 1-naftol.

Una vez ya se ha conseguido separar la fase orgánica de la fase acuosa, este corriente es bombeado por la bomba centrífuga CP-502 hasta el segundo decantador (DCT-502).

Las temperaturas de cristalización del 1-naftol y de la 1-naftilamina son 95°C y 49°C, respectivamente.

Por esta razón, justo antes de entrar en el DCT-502, se instala un intercambiador de calor (EX-501) que enfría la corriente hasta una temperatura de 80°C con el fin de precipitar el 1-naftol.

A continuación, se deja que precipite como sólido el 1-naftol durante un máximo de 10 minutos y manteniendo una temperatura constante de 75°C mediante una camisa por la que circula agua de refrigeración a 30 °C.

Posteriormente, se abre la válvula automática AV-507 y el contenido se descarga por gravedad en una centrífuga donde el 1-naftol acaba formándose en una pasta, y se separan el agua y la naftilamina que puedan contener. Una vez más, con el fin de no considerar esta operación como ideal o perfecta, se establece que un 2% del contenido de 2-nitronaftaleno, naftilamina y agua es contenido en el 1-naftol ya sólido.

Durante el tiempo de centrifugación (30 min), se recirculan continuamente las aguas madres de este lote de nuevo al DCT-502 para conseguir una mayor eficacia del proceso de centrifugación.

De esta forma, la mezcla ya bastante sólida se envía a la última etapa del proceso de cristalización, el secador de aire (DRY-504).

Este secador actúa como un lecho fluidizado, en el que el sólido se mantiene en suspensión, y un soplador (BP-501) hace circular un corriente de aire con el fin de acabar de secar el producto. Además, la corriente de salida de aire llega a un ciclón que

1. Especificaciones del proyecto

permite recircular, de nuevo al secador, el producto final que pueda haber sido arrastrado por este corriente de aire.

Finalmente, una vez el producto final está bien seco y en forma cristalina, se descarga a una llenadora de saco a granel que, directamente, se empaqueta en big-bags de 1.000 kg de producto.

Por último, cabe destacar que la pureza del 1-naftol obtenida es del 99.9% en peso.

Así, se han buscado valores de la pureza del 1-naftol en forma comercial [11] y se ha encontrado que el mínimo de pureza para ser vendido industrialmente es del 96%. Por lo tanto, el 1-naftol producido se considera adecuado para ser vendido al complejo vecino de producción de SEVIN® o a cualquier otro comprador.

1.4. Constitución de la planta

1.4.1. Descripción de las áreas

La planta de producción del 1-naftol se divide en diez áreas.

A continuación, se especifican y detallan cada una de estas áreas:

- **Área 100:** Almacenamiento. Se almacena tanto el naftaleno sólido y las materias primas como el ácido sulfúrico y el ácido nítrico en tanques. Se instalan 4 tanques de ácido nítrico, 4 más de ácido sulfúrico, uno de isopropanol y el gasómetro de hidrógeno. Además, en una zona un poco más alejada, se almacenarán el naftaleno sólido y los residuos sólidos recuperados así como el 1-naftol ya listo para vender.
- **Área 200:** Reacción de nitración. Reactores agitados para la nitración, tanque pulmón, separador flash y columna de destilación.
- **Área 300:** Reacción de hidrogenación. Hidrogenador, mezclador, columna de destilación y tanque pulmón.
- **Área 400:** Reacción de hidrólisis. Reactores agitados destinados para la hidrólisis.
- **Área 500:** Purificación y cristalización del 1-naftol. Decantador de fases y zona de cristalización del 1-naftol formada por otro decantador, una centrífuga y un secador de aire equipado con un ciclón a su salida.
- **Área 600:** Servicios. Torre de refrigeración, chiller para agua de refrigeración a 5°C, descalcificador, dos calderas de aceite térmico y una de producción de vapor a 120°C y 2 bar de presión.
- **Área 700:** Oficinas, laboratorios y sala de control. Esta área contará con una parte administrativa, otra de despachos, laboratorios para investigación y

1. Especificaciones del proyecto

analíticas y, por último, una sala de control equipada con un *software* que permita la monitorización del proceso.

- **Área 800:** Aparcamiento. Plazas de aparcamientos a disposición de los trabajadores y clientes.
- **Área 900:** Tratamiento de gases. Dos tanques de recogida o *catch tanks* de aproximadamente 25 m³ equipados con un *scrubber* para neutralizar los vapores de ácido que puedan contener.
- **Área 1000:** Tratamiento de líquidos. Equipos de pervaporación, decantador centrífugo y tanques de recogida de efluentes sólidos y líquidos.

1.4.2. Horario y plantilla de trabajo

La planta estará operativa 300 días al año, 24 horas al día.

En primer lugar, destacar que el hecho de que la planta opere 24 horas al día es debido a que una parte del proceso se lleva a cabo en continuo. En caso de que se estuviera, por ejemplo al inicio de cada semana, parando y arrancando los equipos, implicaría unos costes de puesta en marcha que harían que trabajar de este modo no resultara viable.

Por esta razón, y dado que el nivel de producción de 1-naftol es bastante elevado, es necesario que la planta esté continuamente en funcionamiento.

En cuanto al mantenimiento de la planta, se establecerán tres paradas al año (una en invierno y semana santa, cortas y otra en verano, más larga) en las que se realizará el mantenimiento y limpieza de la misma.

La plantilla de trabajadores se dividirá en dos grupos (administración y producción) que tendrán turnos de trabajo distintos. De esta forma, la plantilla constará del siguiente personal:

- Personal directivo:
 - Director general.
 - Director financiero.

- Responsables y supervisores:
 - Supervisor de planta.
 - Supervisor de área.
 - Supervisor de mantenimiento.
 - Supervisor de laboratorio.
 - Responsables de seguridad y medioambiente.
 - Responsable de recursos humanos (RRHH).

- Especialistas:
 - Técnico sala de control.
 - Técnico de laboratorio.
 - Técnico de procesos.

- Operarios de planta.
- Administrativos:
 - Compras.
 - Ventas.
 - Logística.
- Subcontratas:
 - Limpieza.
 - Mecánicos y electricistas.
 - Informática.
 - Seguridad.

Se detallan los turnos de trabajo, diferenciando las tareas de oficinas de las de producción:

- Oficinas:

Tabla 1.4.2.1 Horario de trabajo. Oficinas.

L	M	X	J	V	S	D
9-13 h	9-13 h	9-13 h	9-13 h	9-13 h	-	-
14-18 h	14-18 h	14-18 h	14-18 h	14-18 h	-	-

- Producción:

Tabla 1.4.2.2 Horario de trabajo. Producción.

Semana 1							
	L	M	X	J	V	S	D
Mañana	Turno 4	Turno 4	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3
Tarde	Turno 3	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Noche	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1
Descanso	Turno 2	Turno 3	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4

Semana 2

	L	M	X	J	V	S	D
Mañana	Turno 3	Turno 3	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2	Turno 2
Tarde	Turno 2	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1	Turno 1
Noche	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4	Turno 4
Descanso	Turno 1	Turno 2	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3	Turno 3

Tal y como se puede observar en la tabla anterior, el horario del personal de producción trabajará en cuatro turnos. A su vez, el día se partirá en tres turnos diferentes de ocho horas cada uno: mañana, tarde y noche.

De esta forma, la rotación de los turnos se realizará de la siguiente forma.

- El turno que empieza de noche (turno 1) trabajará toda la primera semana de 22:00 a 6:00 horas.
- La siguiente semana descansará el lunes, y empezará el martes el turno de tarde durante siete días seguidos.
- A la siguiente semana (no se muestra), descansará el martes, y el miércoles trabajará durante el turno de mañana durante siete días seguidos.
- Finalmente, al acabar este turno de mañana, descansará cinco días seguidos.
- Los demás turnos realizarán los mismos cambios y horarios de trabajo y descanso.

Por lo tanto, las semanas se dividirán en cortas (descanso de 5 días) y largas (descanso de 1 día). Así, cada turno realizará 168 horas de trabajo durante las cuatro semanas que dura la rotación de los turnos; cumpliendo la normativa laboral vigente.

1. Especificaciones del proyecto

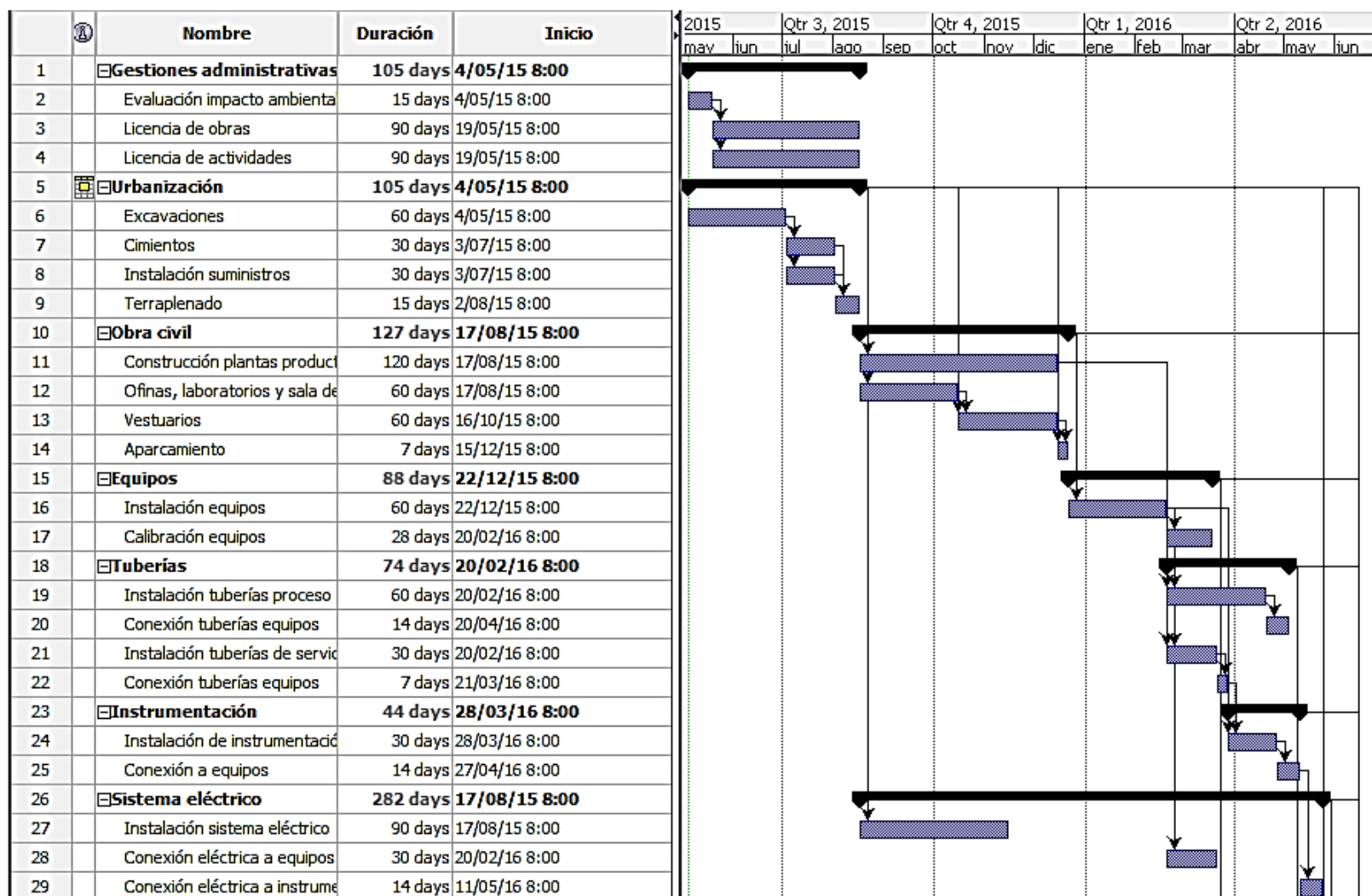
Finalmente, decir que la empresa de seguridad privada proporcionará vigilantes de seguridad que se situarán en la entrada de la fábrica de lunes a domingo. Siempre debe haber como mínimo dos vigilantes que controlen el acceso tanto de la plantilla de trabajo como de personas ajenas a la empresa.

1.4.3. Programación temporal de la construcción de la planta

A continuación, se muestra la planificación temporal de tareas para la construcción de la planta de producción de 1-naftol.

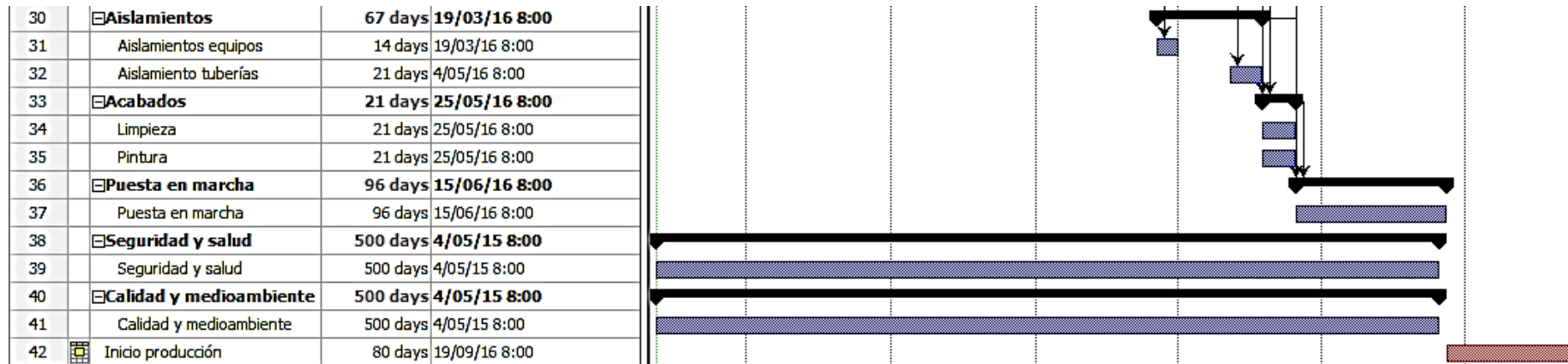
Cabe destacar que la duración de todas las tareas presentes es aproximada, y se le asignado una duración de un cierto número de semanas, así como un orden de prioridad. Es decir, existen algunas tareas críticas que marcan el inicio de la realización de otras; por ejemplo no se puede instalar la instrumentación de los equipos hasta que éstos no se han instalado.

Tabla 1.4.3.1. Programación temporal. Planta de producción de 1-naftol.



Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

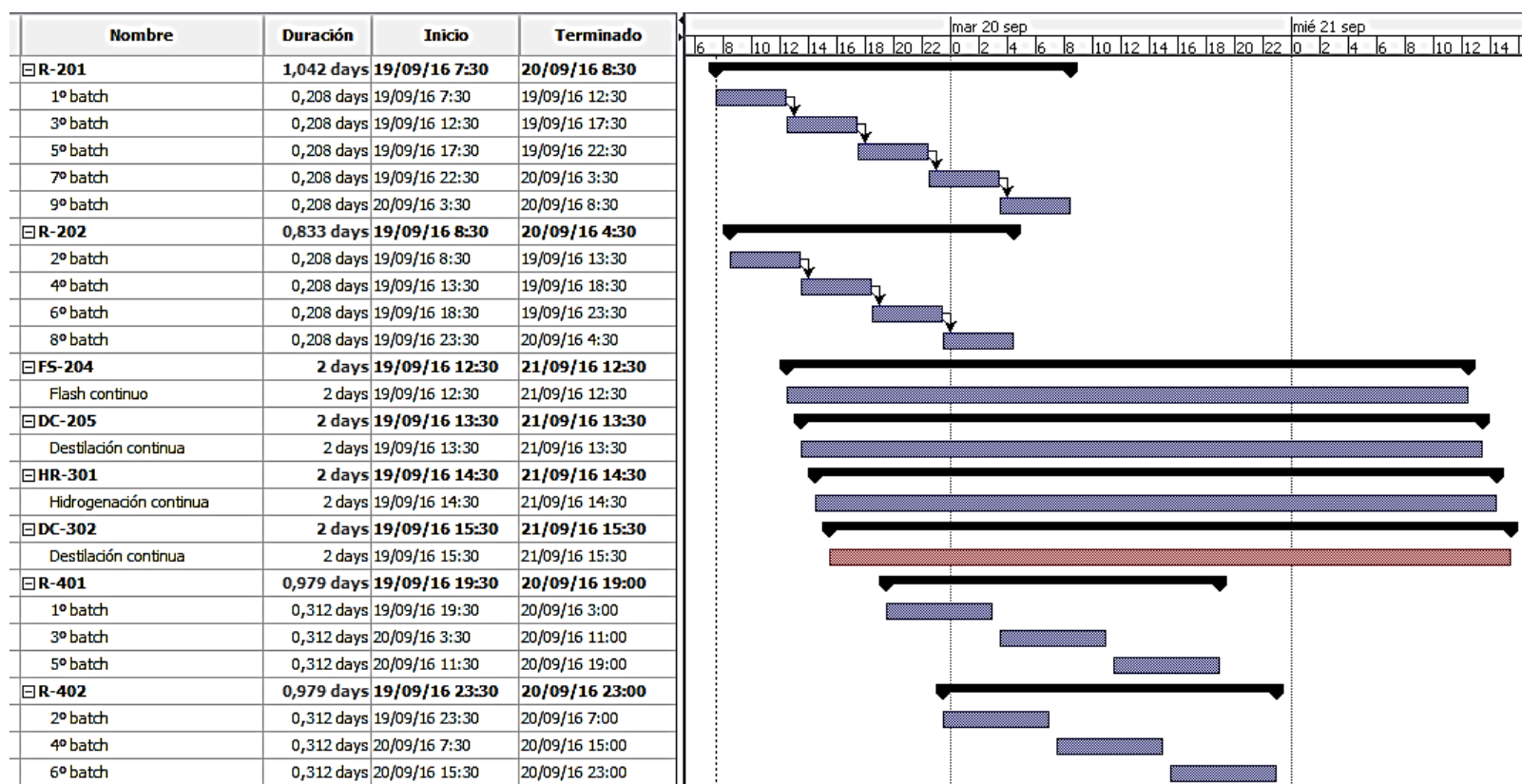


Tal y como se observa, se ha escogido un periodo razonable de todas aquellos permisos y tareas necesarias para la apertura de la fábrica de tal forma que ésta esté operativa el lunes 19 de septiembre del año 2016.

1.4.4. Programación temporal del proceso de producción

Se ha realizado un *planning* de los procesos y operaciones principales de la planta de producción de 1-naftol. Dicha programación de tareas se detalla en el siguiente diagrama de Gantt:

Tabla 1.4.4.1. Programación temporal. Proceso de producción de 1-naftol.



Tal y como se puede observar en el diagrama anterior, las operaciones se dividen en los ocho grandes equipos presentes en la planta. Éstos son:

- Reactor de nitración R-201.
- Reactor de nitración R-202.
- Separador flash FS-204.
- Columna de destilación continua DC-205.
- Hidrogenador HR-301.
- Columna de destilación continua DC-302.
- Reactor de hidrólisis R-401.
- Reactor de hidrólisis R-402.

Además, faltaría incluir en este diagrama las operaciones correspondientes a la cristalización del 1-naftol. Éstas no se incluyen en este diagrama porque no se han considerado como tareas críticas, ya que no es preciso llevarlas a cabo un día concreto. Sin embargo, sí que se especifican más adelante los tiempos de ejecución de tales operaciones.

Por lo tanto, a modo de resumen, se detalla la duración de todas las operaciones de cada equipo.

Tablas 1.4.4.1-12. Duración operaciones.

Equipo	Operación	Duración (min)
R-201	Carga y fusión naftaleno	30
	Reacción de nitración	240
	Descarga a BT-203	30
	Duración total	300

Equipo	Operación	Duración (min)
R-202	Carga y fusión naftaleno	30
	Reacción de nitración	240
	Descarga a BT-203	30
	Duración total	300

1. Especificaciones del proyecto

Equipo	Operación	Duración (min)
FS-204	Separador flash	Continuo
	Duración total	Continuo

Equipo	Operación	Duración (min)
DC-205	Destilación continua	Continuo
	Duración total	Continuo

Equipo	Operación	Duración (min)
HR-301	Reacción de hidrogenación	Continuo
	Duración total	Continuo

Equipo	Operación	Duración (min)
DC-302	Destilación continua	Continuo
	Duración total	Continuo

Equipo	Operación	Duración (min)
R-401	Carga de la mezcla proveniente de DC-302 y agua	30
	Carga ácido sulfúrico	30
	Presurización a 13 bar	30
	Heating hasta 190 °C	30
	Reacción de hidrólisis	300
	Descarga a DCT-501	30
	Duración total	450

Equipo	Operación	Duración (min)
R-402	Carga de la mezcla proveniente de DC-302 y agua	30
	Carga ácido sulfúrico	30
	Presurización a 13 bar	30
	Heating hasta 190 °C	30
	Reacción de hidrólisis	300
	Descarga a DCT-501	30
	Duración total	450

1. Especificaciones del proyecto

Equipo	Operación	Duración (min)
DCT-501	Decantación	10
	Descarga fase líquida	10
	Descarga fase orgánica	10
	Duración total	30

Equipo	Operación	Duración (min)
DCT-502	Decantación	10
	Descarga	Gravedad
	Duración total	10

Equipo	Operación	Duración (min)
CTF-503	Centrifugación	30
	Descarga	Polipasto
	Duración total	30

Equipo	Operación	Duración (min)
DRY-504 y CYL-505	Secado	30
	Descarga	Gravedad
	Duración total	30

1.5. Balance de materia

ÁREA 200		201 A / 201 B		Carga naftaleno		202 A / 202 B	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	3777,78	1	0	0
Ácido nítrico	63,01	1986,743	0,63	0	0	129,974	0,019
1-nitronaftaleno	173,2	0	0	0	0	4797,601	0,690
2-nitronaftaleno	173,2	0	0	0	0	239,880	0,035
1,5-dinitronaftaleno	218,2	0	0	0	0	83,588	0,012
Agua	18,02	1166,817	0,37	0	0	1697,828	0,244
Hidrógeno	2	0	0	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	0	0	0	0	0	0
Isopropanol	60,1	0	0	0	0	0	0
Ácido sulfúrico	98,079	0	0	0	0	0	0
Amoniaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	0	0	0	0	0	0
Cantidad (kg)		3153,560		3777,778		6948,871	
Modo operación / Duración		Discontinuo / 1 hora		Discontinuo / descarga polipasto		Discontinuo / 30 min	
Caudal másico durante operación (kg/h)		3153,560		3777,778		13897,742	
Caudal volumétrico durante operación (m ³ /h)		2,531		-		16,008	
Temperatura (°C)		25		25		70	
Presión (bar)		1,01		1,01		1,01	
Densidad másica (kg/m ³)		1234		1057		868,2	
Estado físico		L		S		L	

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Fracción de vapor	0	0	0
-------------------	---	---	---

ÁREA 200		203		204		205	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	48,740	0,019	47,2982	0,071	1,442	0,001
1-nitronaftaleno	173,2	1799,100	0,690	10,2378	0,015	1788,8625	0,921
2-nitronaftaleno	173,2	89,955	0,035	0,264	0,000	89,6915	0,046
1,5-dinitronaftaleno	218,2	31,346	0,012	0,0038	0,000	31,3419	0,016
Agua	18,02	636,685	0,244	604,7264	0,913	31,959	0,016
Hidrógeno	2	0	0	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	0	0	0	0	0	0
Isopropanol	60,1	0	0	0	0	0	0
Ácido sulfúrico	98,079	0	0	0	0	0	0
Amoniaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	0	0	0	0	0	0
Cantidad (kg)		2605,827		662,530		1943,297	
Modo operación / Duración		Continuo		Continuo		Continuo	
Caudal másico durante operación (kg/h)		2605,827		662,530		1943,297	
Caudal volumétrico durante operación (m³/h)		3,001		803		2,341	
Temperatura (°C)		70		105		105	
Presión (bar)		1,01		1,01		1,01	
Densidad másica (kg/m³)		868,2		0,827		830	
Estado físico		L		V		L	

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Fracción de vapor	0	1	0
-------------------	---	---	---

ÁREA 200		206		207		208	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	1,442	0,001	1,442	0,001	0	0
1-nitronaftaleno	173,2	1788,8625	0,921	1763,394	0,981	25,4685	0,174
2-nitronaftaleno	173,2	89,6915	0,046	0,0021	1,2E-06	89,6894	0,612
1,5-dinitronaftaleno	218,2	31,3419	0,016	0	0	31,3419	0,214
Agua	18,02	31,959	0,016	31,959	0,018	0	0
Hidrógeno	2	0	0	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	0	0	0	0	0	0
Isopropanol	60,1	0	0	0	0	0	0
Ácido sulfúrico	98,079	0	0	0	0	0	0
Amoniaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	0	0	0	0	0	0
Cantidad (kg)		1943,297		1796,797		146,500	
Modo operación / Duración		Continuo		Continuo		Continuo	
Caudal másico durante operación (kg/h)		1943,297		1796,797		146,500	
Caudal volumétrico durante operación (m³/h)		2,561		2,368		0,234	
Temperatura (°C)		80		140,2		322,9	
Presión (bar)		1,01		1,01		1,01	
Densidad másica (kg/m³)		823,9		758,8		625,9	
Estado físico		L		L		L	

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Fracción de vapor	0	0	0
-------------------	---	---	---

ÁREA 300		301		302		303	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	0	0	1,442	0,000	1,442	0,000
1-nitronaftaleno	173,2	0	0	1763,394	0,495	1763,394	0,495
2-nitronaftaleno	173,2	0	0	0,0021	5,90E-07	0,0021	5,90E-07
1,5-dinitronaftaleno	218,2	0	0	0	0	0	0
Agua	18,02	264,509	0,15	296,468	0,083	296,468	0,083
Hidrógeno	2	0	0	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	0	0	0	0	0	0
Isopropanol	60,1	1498,885	0,85	1498,885	0,421	1498,885	0,421
Ácido sulfúrico	98,079	0	0	0	0	0	0
Amoniaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	0	0	0	0	0	0
Cantidad (kg)		1763,394		3560,1911		3560,1911	
Modo operación / Duración		Continuo		Continuo		Continuo	
Caudal másico durante operación (kg/h)		1763,394		3560,1911		3560,1911	
Caudal volumétrico durante operación (m ³ /h)		2,232		4,506		4,486	
Temperatura (°C)		25		72,67		78,33	
Presión (bar)		1,01		1,01		100,00	

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Densidad másica (kg/m ³)	790	790	793,7
Estado físico	L	L	L
Fracción de vapor	0	0	0

ÁREA 300		304		305		306	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	1,442	0,000	0	0	1,442	3,98E-04
1-nitronaftaleno	173,2	1763,394	0,495	0	0	0	0
2-nitronaftaleno	173,2	0,0021	5,90E-07	0	0	0,0021	5,80E-07
1,5-dinitronaftaleno	218,2	0	0	0	0	0	0
Agua	18,02	296,468	0,083	0	0	663,401	0,183
Hidrógeno	2	0	0	61,088	1	0	0
1-naftilamina	143,2	0	0	0	0	1457,956	0,403
Isopropanol	60,1	1498,885	0,421	0	0	1498,885	0,414
Ácido sulfúrico	98,079	0	0	0	0	0	0
Amoniaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	0	0	0	0	0	0
Cantidad (kg)		3560,1911		61,088		3621,686	
Modo operación / Duración		Continuo		Continuo		Continuo	
Caudal másico durante operación (kg/h)		3560,1911		61,088		3621,686	
Caudal volumétrico durante operación (m ³ /h)		5,271		7,51		5,272	

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Temperatura (°C)	190	25	190
Presión (bar)	100	100	100
Densidad másica (kg/m ³)	675,4	8,133	687
Estado físico	L	G	L
Fracción de vapor	0	1	0

ÁREA 300		307		308		309	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	1,442	3,98E-04	1,442	0,001	0	0
1-nitronaftaleno	173,2	0	0	0	0	0	0
2-nitronaftaleno	173,2	0,0021	5,80E-07	0	0	0,0021	1,44E-06
1,5-dinitronaftaleno	218,2	0	0	0	0	0	0
Agua	18,02	663,401	0,183	663,389	0,307	0,012	7,96E-06
Hidrógeno	2	0	0	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	1457,956	0,403	0,151	6,98E-05	1457,805	0,99999
Isopropanol	60,1	1498,885	0,414	1498,884	0,693	0,001	6,17E-07
Ácido sulfúrico	98,079	0	0	0	0	0	0
Amoniaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	0	0	0	0	0	0
Cantidad (kg)		3621,686		2163,8665		1457,8195	
Modo operación / Duración		Continuo		Continuo		Continuo	
Caudal másico durante operación (kg/h)		3621,686		2163,867		1457,820	

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Caudal volumétrico durante operación (m ³ /h)	1287	2,824	2,026
Temperatura (°C)	90,2	80,79	300,5
Presión (bar)	1,01	1,01	1,01
Densidad másica (kg/m ³)	2,814	766,3	719,4
Estado físico	L+V	L	L
Fracción de vapor	0,60	0,00	0,00

ÁREA 400		401		402		403	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	0	0	0	0	0	0
1-nitronaftaleno	173,2	0	0	0	0	0	0
2-nitronaftaleno	173,2	0,0084	1,44E-06	0	0	0	0
1,5-dinitronaftaleno	218,2	0	0	0	0	0	0
Agua	18,02	0,046	7,96E-06	81,637	0,02	798,910	1
Hidrógeno	2	0	0	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	5831,2196	0,99999	0	0	0	0
Isopropanol	60,1	0,004	6,17E-07	0	0	0	0
Ácido sulfúrico	98,079	0	0	4000,217	0,98	0	0
Amoníaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	0	0	0	0	0	0
Sulfato de amonio	132,14	0	0	0	0	0	0
Cantidad (kg)		5831,278		4081,854		798,910	

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Modo operación / Duración	Discontinuo / 30 min	Discontinuo / 30 min	Discontinuo / 10 min
Caudal másico durante operación (kg/h)	11662,556	8163,708	1597,82
Caudal volumétrico durante operación (m ³ /h)	16,211	4,4	4,76
Temperatura (°C)	300,5	25	25
Presión (bar)	1,01	1,01	1,01
Densidad másica (kg/m ³)	719,4	1856	1007
Estado físico	L	L	L
Fracción de vapor	0	0	0

ÁREA 400		404 A / 404 B		405	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	0	0	0	0
1-nitronaftaleno	173,2	0	0	0	0
2-nitronaftaleno	173,2	0,0084	7,841E-07	0,0084	7,841E-07
1,5-dinitronaftaleno	218,2	0	0	0	0
Agua	18,02	166,130	0,016	166,130	0,016
Hidrógeno	2	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	153,944	0,014	153,944	0,014
Isopropanol	60,1	0,0040	0,000	0,0040	0,000
Ácido sulfúrico	98,079	2056,00852	0,192	2056,00852	0,192
Amoniaco	17	0	0	0	0
1-naftol	144,2	5716,921	0,534	5716,921	0,534
Sulfato de amonio	132,14	2619,3957	0,245	2619,3957	0,245

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Cantidad (kg)	10712,41141	10712,41141
Modo operación / Duración	Discontinuo / 30 min	Discontinuo / 30 min
Caudal másico durante operación (kg/h)	21424,82283	21424,82283
Caudal volumétrico durante operación (m ³ /h)	21,652	584,420
Temperatura (°C)	190	179
Presión (bar)	13,00	1,01
Densidad másica (kg/m ³)	989,513	36,66
Estado físico	L	L
Fracción de vapor	0	0,08

ÁREA 500		501		502		503	
Compuesto	PM (kg/kmol)	kg/h	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
Naftaleno	128,2	0	0	0	0	0	0
Ácido nítrico	63,01	0	0	0	0	0	0
1-nitronaftaleno	173,2	0	0	0	0	0	0
2-nitronaftaleno	173,2	0,0084	7,84E-07	0	0	0,0084	1,43E-06
1,5-dinitronaftaleno	218,2	0	0	0	0	0	0
Agua	18,02	166,130	0,016	162,807	0,034	3,323	0,001
Hidrógeno	2	0	0	0	0	0	0
1-naftilamina	143,2	153,944	0,014	0	0	153,944	0,026
Isopropanol	60,1	0,0040	3,73E-07	0	0	0,004	6,81E-07
Ácido sulfúrico	98,079	2056,009	0,192	2056,009	0,425	0	0
Amoniaco	17	0	0	0	0	0	0
1-naftol	144,2	5716,921	0,534	0	0	5716,921	0,973

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

Sulfato de amonio	132,14	2619,396	0,245	2619,396	0,541	0	0
Cantidad (kg)	10712,4114		4838,2114		5874,2000		
Modo operación / Duración	Discontinuo / 30 min		Discontinuo / 10 min		Discontinuo / 10 min		
Caudal másico durante operación (kg/h)	21424,823		29029,269		35245,200		
Caudal volumétrico durante operación (m³/h)	20,18334526		15,18941805		45,361		
Temperatura (°C)	98,5		98,5		98,5		
Presión (bar)	1,01		1,01		1,01		
Densidad másica (kg/m³)	1061,51		-		777		
Estado físico	L		L		L		
Fracción de vapor	0		0		0		

504		505		Efluente retirado por la centrífuga	
kg	Fracción másica	kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0,0084	1,43E-06	0,0084	1,43E-06	0,008	5,34E-05
0	0	0	0	0	0
3,323	0,001	3,3226	0,001	3,256	0,021
0	0	0	0	0	0
153,944	0,026	153,944	0,026	150,865	0,979
0,004	6,81E-07	0,004	6,81E-07	0,004	2,54E-05
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Planta de producción de 1-naftol

1. Especificaciones del proyecto

5716,921	0,973	5716,921	0,973	0	0
0	0	0	0	0	0
5874,2000		5874,2000		154,1334	
Discontinuo / 10 min		Discontinuo		Discontinuo	
35245,200		-		-	
44,597		-		-	
80		75		75	
1,01		1,01		1,01	
790,3		-		-	
L		S+L		L	
0		0		0	

506		507	
kg	Fracción másica	kg	Fracción másica
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
1,68E-04	2,94E-08	1,68E-04	2,94E-08
0	0	0	0
0,066	0,000	0,066	0,000
0	0	0	0
3,079	0,001	3,079	0,001
8,00E-05	1,40E-08	0	0
0	0	0	0

0	0	0	0
5716,921	0,999	5716,921	0,999
0	0	0	0
5720,0666		5720,0665	
Discontinuo		Discontinuo	
-		-	
-		-	
70		25	
1,01		1,01	
-		-	
S+L		S	
0		0	

1.6. Especificaciones y necesidades de servicio

En este apartado se especifican las distintas necesidades y servicios que requiere la operación de la planta.

A continuación, se detallan todos estos servicios:

- Agua de red.
- Agua de refrigeración.
- Grupos de frío o *chiller's*.
- Agua descalcificada
- Gas natural.
- Aire comprimido.
- Electricidad.
- Aceite térmico.

De esta forma, se procede a explicar todos y cada uno de los servicios por separado.

1.6.1. Agua de red

El agua de red utilizada en la planta se suministra a pie de parcela a una presión de 4 kg/cm² en un colector de 200 mm.

Esta agua estará destinada principalmente a:

- Agua de proceso para los reactores R-401 & R-402.
- Servicio de vapor para las calderas de vapor.
- Agua de refrigeración.
- Agua para incendios.
- Limpieza de equipos.

A su vez, se usará también para uso del personal, en oficinas, laboratorios, vestuarios, lavabos, riego de zonas ajardinadas, etc.

1.6.2. Agua de refrigeración

El agua de refrigeración se utiliza tanto para el enfriamiento de diversos caudales de proceso en los correspondientes intercambiadores de calor, como para el mantenimiento y control de la temperatura de los reactores agitados y el hidrogenador.

Además, destacar que los reactores R-201 y R-202 así como el hidrogenador HR-301 necesitan agua de refrigeración pero procedente de los grupos de frío o *chiller's* a una temperatura más baja (5°C).

De esta forma, los equipos principales que precisan de esta agua de refrigeración son:

- R-201 y R-202.
- Condensadores de las columnas de destilación DC-205 y DC-302.
- Hidrogenador HR-301.
- R-401 y R-402.
- Decantador DCT-502.
- Intercambiadores de calor.
- Bombas.

Para enfriar esta agua será necesaria la instalación de una torre de refrigeración. En concreto, se instalará una única torre, la TR-604.

Por lo tanto, conociendo los caudales que se deben enfriar y a qué temperaturas se deben enfriar, se calcula la energía por unidad de tiempo que se tendrá que disipar de tales corrientes.

Además, se establece un salto máximo permisible de la temperatura de esta agua (durante el proceso) de 15°C.

De esta forma, al juntar todos los corrientes que provienen de los equipos de proceso, se establece que éstos entran en la torre de refrigeración a una temperatura de 39.7°C y se desea que salgan a 30°C.

Por lo tanto, la energía disipada por unidad de tiempo en esta torre de refrigeración así como el cálculo completo y selección de la torre se especifican en el apartado correspondiente de equipos y manual de cálculo.

Sin embargo, especificar en este punto, que el calor disipado por la torre de refrigeración es de 11190 kW, correspondiéndose a un caudal de agua de 986147.6 kg/h aproximadamente.

1.6.3. Grupos de frío

En la presente planta hay equipos que precisan de agua de refrigeración, pero a una temperatura más baja, como consecuencia de sus altas necesidades de disipación de energía.

Por lo tanto, se decide instalar un grupo de frío o *chiller* que permite enfriar el agua procedente de torre (30°C) hasta una temperatura de 5°C. El *chiller* utilizado se denotar como CH-605.

Este tipo de equipos permiten disipar el calor de un líquido mediante ciclos de compresión y expansión adiabática de un gas o fluido refrigerante en un circuito cerrado.

Los equipos que precisan de *chilled water* son:

- Reactores R-201 & R-202.
- Hidrogenador HR-301.
- Intercambiadores de calor EX-1001 y EX-1002.

Así, esta agua entra en los anteriores equipos a una temperatura de 5°C y se establece que el salto térmico sea de 40°C; es decir, que el agua salga a 45°C. El establecimiento de este salto térmico radica en el hecho de que 45°C es la temperatura máxima a la que el agua puede entrar en la torre de refrigeración. De esta forma, se consiguen reducir los caudales de refrigeración.

Finalmente, destacar que el caudal de *chilled water* necesario es de 211448 kg/h y que el calor disipado será de 6196 kW.

La especificación completa de dicho equipo se recoge en la hoja de especificación pertinente.

1.6.4. Agua descalcificada

Las corrientes de agua de proceso necesitan estar libres de iones calcio y magnesio principalmente, para evitar la posible precipitación de sus respectivas sales en las tuberías y, de esta forma, evitar la formación de incrustaciones que impidan la correcta circulación de estas corrientes.

A su vez, se debe descalcificar también la parte que se repone al circuito de agua de refrigeración. Esto se debe a que, al enfriar el agua caliente de entrada a la torre (36°C), ésta se evapora. Por lo tanto, se deben tener en cuenta estas pérdidas por evaporación.

Por lo tanto:

Agua de proceso a descalcificar en R-401 y R-402 = **0.2 m³/h**

Caudal de entrada a la Torre de refrigeración = **986.148 m³/h**

Considerando unas pérdidas de evaporación del 2 % del caudal de entrada a la torre de refrigeración, se tiene que:

Caudal de agua de reposición a descalcificar = **19.72 m³/h**

Por lo tanto, el caudal total de agua a descalcificar será de 19.92 m³/h.

Para la descalcificación de esta agua se utilizará una columna de intercambio iónico con el fin de sustituir los iones calcio y magnesio por otros iones más solubles en el agua como puede ser el ion sodio que no provoca problemas de incrustaciones.

Así, la descalcificadora a comprar será del modelo HK-65 de la empresa Ecocal. Dicho equipo tendrá una capacidad máxima de 24 m³/h. (Para más información entrar en <http://www.descalcificadorinhidorecocal.com>).

Por otra parte, se tendrá que instalar también un equipo descalcificador en la sala de calderas, ya que parte del vapor que se produce en éstas condensará. Por esta razón, se deberá reponer una cierta cantidad de agua originada por las pérdidas por condensación.

El equipo descalcificador se instalará en la misma sala de calderas.

Considerando las pérdidas por condensación el 2% del caudal total de vapor que se genera en las calderas, se obtiene que:

$$\text{Caudal total vapor calderas} = \mathbf{600 \text{ kg/h}}$$

$$\text{Vapor condensado} = 2\% \text{ del caudal total de vapor}$$

$$\text{Necesidades agua descalcificada para calderas} = \mathbf{0.03 \text{ m}^3/\text{h}}$$

Por lo tanto, como el caudal de agua a descalcificar en este caso es tan bajo, se decide utilizar el mismo descalcificador para cumplir ambas necesidades.

1.6.5. Aceite térmico

Como consecuencia de los altos puntos de ebullición de las sustancias presentes, se opta por utilizar aceite térmico en los *reboiler's* KR-206 y KR-304 de las columnas de destilación DC-205 y DC-302, respectivamente.

Los puntos de ebullición de los compuestos ligero clave (LK) y pesado clave (HK) están en torno a los 300-320°C e incluso superiores en el caso del 1,5-dinitronaftaleno (390°C).

Esto sumado a que casi todo lo que entra en la columna se destila por la parte superior, hace que las necesidades de aceite térmico sean altas.

En concreto, el caudal necesario será de **552026.655 kg de aceite/h**, correspondiéndose a una potencia total de **14910.85 kW** dividida en dos calderas, CAL-602 y CAL-603, con una potencia de 8140 kW cada una.

El aceite térmico utilizado es el Therminol®75 y sus propiedades se encuentran reflejadas en la pertinente hoja de seguridad del apartado de seguridad.

1.6.6. Gas natural

El servicio de gas natural llega a la planta a media presión ($1,5 \text{ kg/cm}^2$). Se utilizará como combustible en la caldera pirotubular de la zona de servicios (área 600).

El cálculo de las necesidades de vapor y la selección de esta caldera se detallan en el correspondiente apartado de equipos y manual de cálculo.

1.6.7. Aire comprimido

El aire comprimido es un servicio imprescindible en una planta industrial. Así, este aire se utiliza para el accionamiento de las válvulas neumáticas y la instrumentación de la planta.

Para la compresión de este aire es necesario un compresor de aire.

Este compresor, en su funcionamiento, aspira aire atmosférico y lo traslada a mayor presión al interior de un depósito, para su posterior utilización en las instalaciones neumáticas.

En este caso, el compresor elegido es un compresor rotativo de tornillo modelo ZT-110 de la marca Atlas Copco cuyas características técnicas son las siguientes:

Tabla 1.6.7.1. Características técnicas compresor de aire.

Especificaciones técnicas	
Capacidad FAD (Vs)	259.6 - 416 Vs
Capacidad FAD (m³/h, cfm)	15.6 - 25 m³/h
Presión de trabajo	7 - 10.4 bar(e)
Potencia instalada del motor	132 - 160 kW

Por lo tanto, dicho compresor suministra aire de servicio a una presión entre 7 y 10 bar que se considera suficiente para las necesidades de la presente planta.

(Para más información, visitar la página <http://www.atlascopco.es/>).

1.6.8. Electricidad

1.6.8.1. Introducción

El consumo de electricidad es un coste importante en una planta industrial química. Por esta razón, es necesario realizar un dimensionado del consumo de los equipos de proceso e iluminación general.

La conexión que llega a la parcela del terreno es de 20 kV, por lo que se debe instalar una estación transformadora, que transforme *in situ* la tensión que llega a baja tensión para poder dar suministro a todos los equipos de la planta.

Destacar que se ha seguido el reglamento de baja tensión ITC-BT-28 de Septiembre del 2003. En él, se establecen los parámetros del grado de rectificación en instalaciones eléctricas de baja tensión.

1.6.8.2. Cableado

El cableado de toda la planta estará constituido por líneas trifásicas (3 fases + Neutro + Toma de Tierra) que conducirán toda la electricidad, ya a baja tensión, desde la estación transformadora hasta cada equipo que precise de dicho suministro eléctrico.

Según el reglamento indicado anteriormente, la intensidad presente en cada línea se corresponde a un voltaje de 380 Voltios y una frecuencia de 50 Hertz.

El cableado estará formado por un elemento conductor (cobre) recubierto de un material aislante como el PVC que garantice una buena resistencia a las acciones de la intemperie. Así, la norma UNE 21.030 marca que la sección mínima permitida para conductores aislados de cobre será de 10 mm^2 [12].

Además, en caso de que este cableado se encuentre en zona clasificada de riesgo por incendio y/o explosión, éste irá recubierto con una protección especial.

1.6.8.3. Elementos de seguridad

A continuación, se citan y explican los principales elementos de seguridad de los que debe ir dotada una planta química industrial.

1.6.8.3.1. Fusibles

Se denomina fusible a un dispositivo, constituido por un soporte adecuado, un filamento o lámina de un metal o aleación de bajo punto de fusión, que se intercala en un punto determinado de una instalación eléctrica para que se funda, por efecto Joule, cuando la intensidad de corriente supere, por un cortocircuito o un exceso de carga, un determinado valor que pudiera hacer peligrar la integridad de los conductores de la instalación con el consiguiente riesgo de incendio o destrucción de otros elementos.

1.6.8.3.2. Interruptores magnetotérmicos

Un interruptor magnetotérmico es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa unos ciertos valores máximos.

De esta forma, su funcionamiento se basa en dos de los efectos producidos por la circulación de corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico (efecto Joule). Por lo tanto, el dispositivo consta de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente.

1.6.8.3.3. Interruptores diferenciales

Un interruptor diferencial es un dispositivo electromecánico que se coloca en las instalaciones eléctricas de corriente alterna, con el fin de proteger a las personas de las derivaciones causadas por falta de aislamiento entre los conductores activos y tierra o masa de los aparatos eléctricos.

1.6.8.3.4. Contactor

Por último, a nivel industrial, además de los dos interruptores anteriores, se añade un contactor. Éste es un dispositivo capaz de cortar la corriente eléctrica de un receptor o instalación, con la posibilidad de ser accionado a distancia, que tiene dos posiciones de funcionamiento: una estable o de reposo, cuando no recibe acción alguna por parte del circuito de mando, y otra inestable, cuando actúa dicha acción.

1.7. Bibliografía

Bibliografía general:

- Perry, R.H. "Perry's Chemical Engineering Handbook". Ed McGraw-Hill.
- Coulson, J.M., Richardson, J.F. Vol.1. "Fluid flow, heat transfer and mass transfer". Oxford. Ed. Pergamon Press. 1990.
- McCabe, W.L.; Smith, J.C. i Harriot, P. "Unit operations of Chemical Engineering". Ed. McGraw-Hill. Boston. 2001.
- Levenspiel, O. (1981). Ingeniería de las reacciones químicas. Reverté. Barcelona.
- "Procesos de Separación". King, C.J.; Ed. Reverté (1980).
- "Operaciones de Separación por Etapas de Equilibrio en Ingeniería Química". Henley, E.J. i Seader, J.D.; Ed. Reverté (1988).
- Fogler H.S. (2006). Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall. Upper Saddle River . USA.
- Aris R. "Análisis de reactores". Ed. Alhambra, Madrid (1973).
- Carberry, J.J. (2001). Chemical and Catalytic Reaction Engineering. Dover. Mineola. USA.
- Hougen, O.A; Watson, K.M.; Ragatz, R. A.; (1982), Principios de los procesos químicos, Vol. 1: Balances de materia y energía. Reverte. Barcelona. España.
- Yunus A. Cengel. Michael A. Boles. Thermodynamics 6th Edition. Appendix 1. Properties of principal liquids and gases.

Bibliografía específica:

- [1] BIOS, FIAT reports: German dyestuffs and dyestuffs intermediates, including manufacturing processes, plant design and research data 1945 – 1948.
- [2] Union Carbide, US 3 356 743, 1963; US 3 378 591, 1964 (B. T. Freure).
- [3] Biocatalysis for oxidation of naphthalene to 1-naphthol: liquid- liquid biphasic systems and solvent tolerant strains. Bhaskara Janardhan Garikipati Satya Venkata. University of Iowa, 2009.
- [4] F. A. Yukhro et al., Deposited Doc. 1981, SPSTL 566 Khp-D 81, *Chem. Abstr.* 98 160 364.
- [5] Stauffer, US 3 480 671, 1967 (H. Tilles et al.).
- [6] Union Carbide, US 2 903 478, 1959 (J. A. Lambrech).
- [7] H. Hiyama: "Medicines and Agricultural Chemicals Derived from Naphthalene," *Kagaku to Kogyo (Osaka)* 54 (1980) 238 – 247.
- [8] Joseph A. Feiccabrino, "Preparation of mono-nitro aromatic compounds", E.P. Patent 0 108 604 A1, Nov. 2, 1983.
- [9] Jurgen Zander, Ulrich Kappler, "Process for the preparation of 1-naphthylamine", C.A. Patent 1 241 664 A1, Sept. 6, 1988.
- [10] 马燕东, 李全泉, "Method of preparing methyl naphthalene pheol", C.N. Patent 1 009 994 44 A, Jul. 18, 2007.
- [11] <http://www.changyuchem.com/template/product2-1.htm>
- [12] RD-842-2002

- Compresores:

- Richard Greene. Compresores, selección, uso y mantenimiento. Mc Graw-Hill
- <http://www.etitudela.com/profesores/ats/downloads/microsoftwordtema2.pdf>

- Diseño de plantas:

http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/leonardo/MatApoyo/Dise%F1oI/Dise%F1o_Plantas_I_Presentaci%F3n_5.pdf

- Propiedades físicas y químicas de los compuestos:

- Naftaleno:

- <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C91203&Mask=4#Thermo-Phase>
- http://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_EN_CB7687864.htm
- <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.919.html>
- <http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/summary/summary.cgi?cid=944>
- http://www.ddbst.com/en/EED/PCP/DEN_C123.php

- Ácido nítrico:

- <http://enggyd.blogspot.com.es/2010/02/nitric-acid.html>
- <http://www.phs.d211.org/science/smithcw/AP%20Chemistry/Posted%20Tables/Enthalpy%20Vaporization%20and%20Fusion.pdf>

- 1-nitronaftaleno:

- <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.6588.html>
- http://www.chemicalbook.com/ProductMSDSDetailCB2487528_EN.htm#2
- http://books.google.es/books?id=7pGG_dnShR4C&pg=PA3326&lpg=PA3326&dq=liquid+density+1-nitronaphthalene&source=bl&ots=3sbVz4u5-D&sig=N2_EfuH8-

- Agua:

- http://www2.bren.ucsb.edu/~dturney/WebResources_13/WaterSteamIceProperties/EnthalpyOfVaporizationH2O.pdf
- http://www.engineeringtoolbox.com/saturated-steam-properties-d_457.html
- http://www.spiraxsarco.com/esc/SS_Properties.aspx?country_id=ar&lang_id=arg
- http://www.engineeringtoolbox.com/flow-velocity-steam-pipes-d_386.html
- http://www.engineeringtoolbox.com/water-vapor-d_979.html
- http://www.engineeringtoolbox.com/steam-heating-process-d_437.html

- Hidrógeno:

- <http://www.boulder.nist.gov/div838/Hydrogen/Properties/Properties.htm>
- http://www.engineeringtoolbox.com/hydrogen-d_976.html

- 1-naftilamina:
- <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C134327&Units=SI&Mask=4#Thermo-Phase>
- 1-naftol:
- <http://webbook.nist.gov/cgi/cbook.cgi?ID=C90153&Mask=4#Thermo-Phase>