



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ASPIRINA (API)

Trabajo Final de Grado

Tutor: Marc Peris

Rubén Aleu

Alex Espinoza

Cristina Sánchez

Marta Sobocinska

Junhong Ye



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA
ESCOLA D'ENGINYERIA
GRADO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Año académico 2018/2019

CAPÍTULO I: ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO



PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ASPIRINA (API)

Trabajo Final de Grado

Tutor: Marc Peris

Rubén Aleu

Alex Espinoza

Cristina Sánchez

Marta Sobocinska

Junhong Ye



**Universitat Autònoma
de Barcelona**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA
ESCOLA D'ENGINYERIA
GRADO DE INGENIERÍA QUÍMICA

Año académico 2018/2019

ÍNDICE

1. Especificaciones del proyecto	1
1.1. Definición del proyecto	1
1.1.1. Bases del proyecto	1
1.1.2. Alcance del proyecto.....	1
1.1.3. Localización de la planta.....	2
1.1.3.1. Parámetros de edificación, servicios y plano de la parcela	3
1.1.3.2. Comunicaciones y accesibilidad de la planta.....	5
1.1.3.3. Estudio de la población de la zona	11
1.1.3.4. Características físicas de la zona	12
1.1.4. Abreviaciones	13
1.2. Características de los reactivos y producto	13
1.2.1. Reactivos	13
1.2.2. Productos y Subproductos	19
1.2.2.1. Productos	19
1.2.2.2. Subproductos	20
1.2.3. Intermedios de Reacción	23
1.2.4. Reactivo catalizador.....	26
1.2.5. Otros compuestos utilizados en la planta.....	27
1.3. Descripción del proceso de producción	29
1.3.1. La obtención de fenolato de sodio mediante fenol y NaOH.....	29
1.3.2. Reacción de carboxilación	29
1.3.3. Reacción de precipitación	29
1.3.4. Reacción de acetilación	30
1.3.5. Diagrama de bloques	30
1.3.6. Descripción detallada del proceso.....	30
1.3.7. Diagrama de proceso y balance de materia	30
1.4. Especificaciones y necesidades de servicios	35

1.4.1. Agua de red	35
1.4.2. Agua descalcificada	36
1.4.3. Agua desionizada	37
1.4.4. Agua de refrigeración	37
1.4.5. Agua chiller	38
1.4.6. Agua contra incendios.....	38
1.4.7. Vapor de agua	38
1.4.8. Aire comprimido	39
1.4.9. Nitrógeno	39
1.4.10. Electricidad	40
1.4.11. Gas natural	41
1.5. Construcción de la planta	42
1.6. Bibliografía	43

1. Especificaciones del proyecto

1.1. Definición del proyecto

1.1.1. Bases del proyecto

El objetivo principal de proyecto es diseño de una planta de producción del principio activo (API) de Aspirina: Ácido o-Acetilsalicílico a partir de fenol y dióxido de carbono. La fabricación consta de dos etapas: la síntesis de ácido salicílico a partir de fenol y acetilación de ácido salicílico para obtener el ácido o-acetilsalicílico, conocido como Aspirina.

Se estudiará la viabilidad de construcción y operación de esta planta cumpliendo las normativas y legislaciones vigentes.

Las especificaciones de la instalación son las siguientes:

- Capacidad de producción: 3000 toneladas/año de Ácido o-Acetilsalicílico
- Funcionamiento de la planta: 300 días/año Durante el año en la planta se harán 3 paradas de 60 días en total: una parada en agosto de 30 días, una parada durante vacaciones de Navidad de 14 días y una parada durante vacaciones de Semana Santa de 14 días.
- Presentación del producto: sólido en bulk en bidones de 200 kilogramos

La empresa APIRINA respetará las Normas de Correcta Fabricación referente a la fabricación del material de partida a partir de una síntesis química. La aplicación de las normas será referente la calidad de producción, personal, diseño del local y equipos, la gestión y documentación.

1.1.2. Alcance del proyecto

A continuación, se presentan los puntos principales incluidos en la memoria del proyecto:

- Diseño y especificaciones de las unidades de proceso y reacción para la producción y purificación del producto
- Diseño y especificaciones de las unidades de almacenaje de materias primas y estación de carga y descarga
- Diseño y especificaciones de almacenaje del producto acabado

- Especificaciones de las unidades y áreas de servicios que requiere la planta
- Diseño y especificaciones de los sistemas de control y automatismos
- Diseño y especificaciones de seguridad e higiene de acuerdo con la legislación vigente para prevenir los riesgos en el lugar de trabajo
- Evaluación medioambiental de posible impacto ambiental y especificaciones de las unidades de tratamiento de residuos generados
- Especificaciones de áreas de oficinas, laboratorios y vestuarios
- Especificaciones de áreas auxiliares
- Evaluación económica para verifica la viabilidad de la planta diseñada
- Estudio de puesta en marcha, paradas y operación en la planta
- Elaboración de diagramas y planos necesarios

1.1.3. Localización de la planta

La planta estará ubicada en provincia Tarragona, en el polígono industrial de “Gasos Nobles” que pertenece a municipal Reus. La ciudad Reus está situada en Cataluña, una de las comunidades autónomas españolas y se encuentra a unos 14 km de la capital de la provincia, Tarragona y dista unos 107 km de la capital de Cataluña, Barcelona.



Figura 1.1-1. Ubicación de Reus en mapa de España (izquierda) y mapa de Reus (derecha) (fuente: Google Maps)

El término municipal de Reus, a parte del polígono “Gasos Nobles” cuenta con 4 zonas de suelo industrial: Agro-Reus, Noreste, Tecnoparc y Centro Integral de Mercancías (MIC) del Campo. Los sectores principales en Reus son la agroindustria, el comercio y

el turismo. Sin embargo, en Cataluña la Industria Química y farmacéutica son muy importantes.

1.1.3.1. Parámetros de edificación, servicios y plano de la parcela

Los parámetros de edificación son de cumplimiento obligatorio para cada territorio municipal. A continuación, se presentan las especificaciones de la construcción en la parcela situada en polígono “Gasos Nobles”.

Tabla 1.1-1 Parámetros edificación en polígono industrial ‘Gasos Nobles’

EDIFICABILIDAD			1,5 m ² techo/m ² suelo
OCUPACIÓN	MÁXIMA	DE	75%
PARCELA			
OCUPACIÓN MÍNIMA DE PARCELA			20% de la superficie de ocupación máxima
RETRANQUEOS			5 m a viales y vecinos
ALTURA MÁXIMA			16 m y 3 plantas excepto en producción justificando la necesidad por el proceso
ALTURA MÍNIMA			4 m y 1 planta
APARCAMIENTOS			1 plaza/150 m ² construidos
DISTANCIA ENTRE EDIFICIOS			1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5m

La siguiente figura presenta el plano de la parcela, cuya superficie es de 53235 m² con una resistencia del terreno es de 2 kg/cm² a 1.5 m de profundidad sobre gravas.

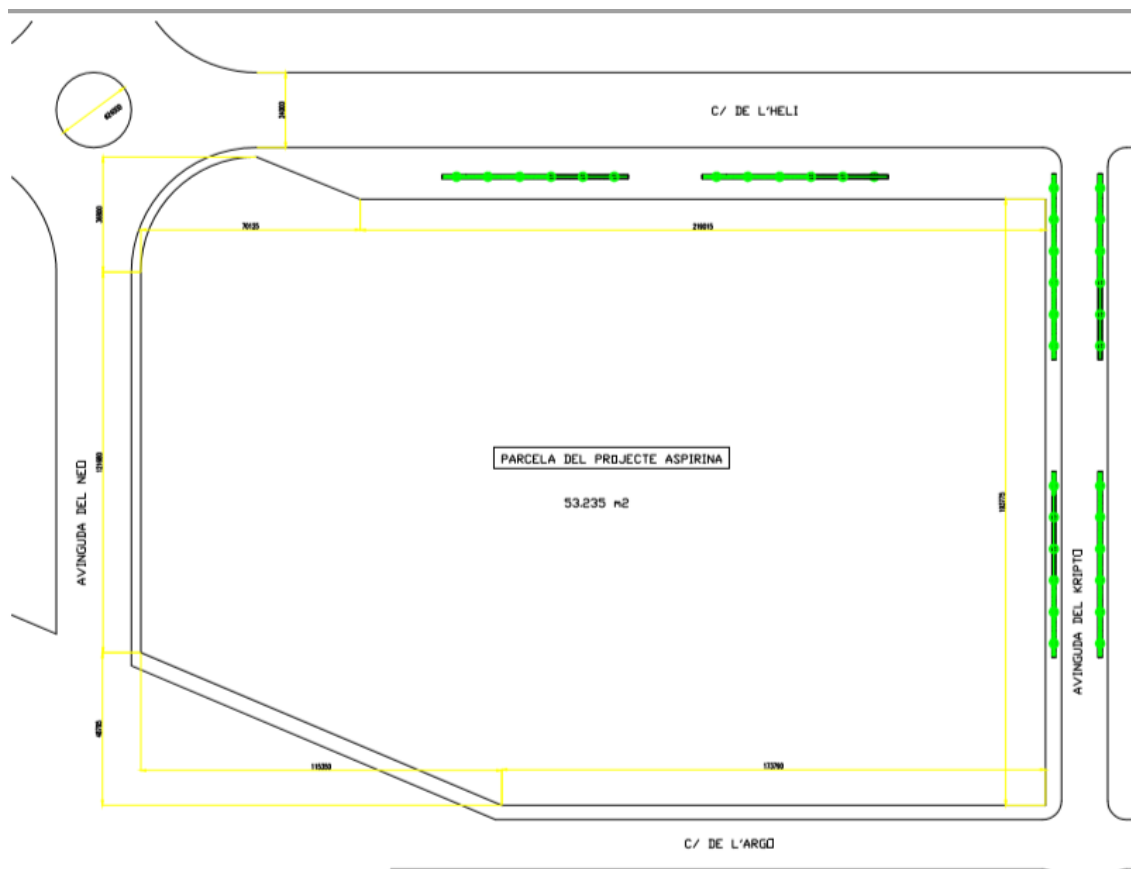


Figura 1.1-2 Plano de la parcela situada en el polígono industrial "Gasos Nobles".

El polígono "Gasos Nobles" dispone de los siguientes servicios:

Tabla 1.1-2 Servicios disponibles en la parcela elegida situada en el polígono de "Gasos Nobles".

ENERGÍA ELÉCTRICA	Conexión desde la línea de 20kV a pie de la parcela
GAS NATURAL	Conexión a pie de la parcela a media presión (1.5 kg/cm ²)
ALCANTARILLADO	Red unitaria al centro de la calle a una profundidad de 3.5 m (diámetro del colector de 800 mm)
AGUA DE INCENDIOS	La máxima presión es de 4 kg/cm ²
AGUA DE LA RED	Acometida a pie de parcela a 4 kg/cm ² con un diámetro de 200 mm

1.1.3.2. Comunicaciones y accesibilidad de la planta

Las comunicaciones y accesibilidad a la planta industrial son estratégicos para el negocio y elección de la parcela, por lo cual se estudiará y destacará las opciones del transporte de las materias/compuestos relacionadas con el proceso y otras mercancías como el acceso a los futuros trabajadores.

Reus se encuentra cerca del mar y montañas de la Costa Dorada, en un punto estratégico en cuanto a comunicaciones e infraestructuras y es accesible en el tiempo de menos de media hora por más de 660 000 personas. El centro de la ciudad se sitúa: a 3 km desde el Aeropuerto de Reus con las conexiones tanto con España como con principales capitales europeas y a aproximadamente 100 km desde el Aeropuerto El Prat y Puerto en Barcelona; a 5 km de la estación de mercancías de Renfe en Constantí; a 15km, en Perafort, está situada la estación de Tren de Alta velocidad (AVE) que conecta con Madrid a menos de 3 horas y con Barcelona en unos 30 min; a 12 km del Puerto y Estación Ferroviaria de mercancías de Tarragona y a unos 250 km desde Francia. [1]

A continuación, se destacan las infraestructuras en Reus y alrededores.

Transporte terrestre: El término municipal de Reus dispone del acceso de entrada y salida de la ciudad de autovía T-11 de Tarragona, las carreteras comarcal C-14 y nacionales N-420. A parte, la zona tiene fácil acceso a la autovía (A-7) y autopista (AP-7) del Mediterráneo, también llamado E-15 según clasificación de carreteras europeas, autovía A-27 y T-310 y carreteras nacionales N-340, N-240 y N-241.

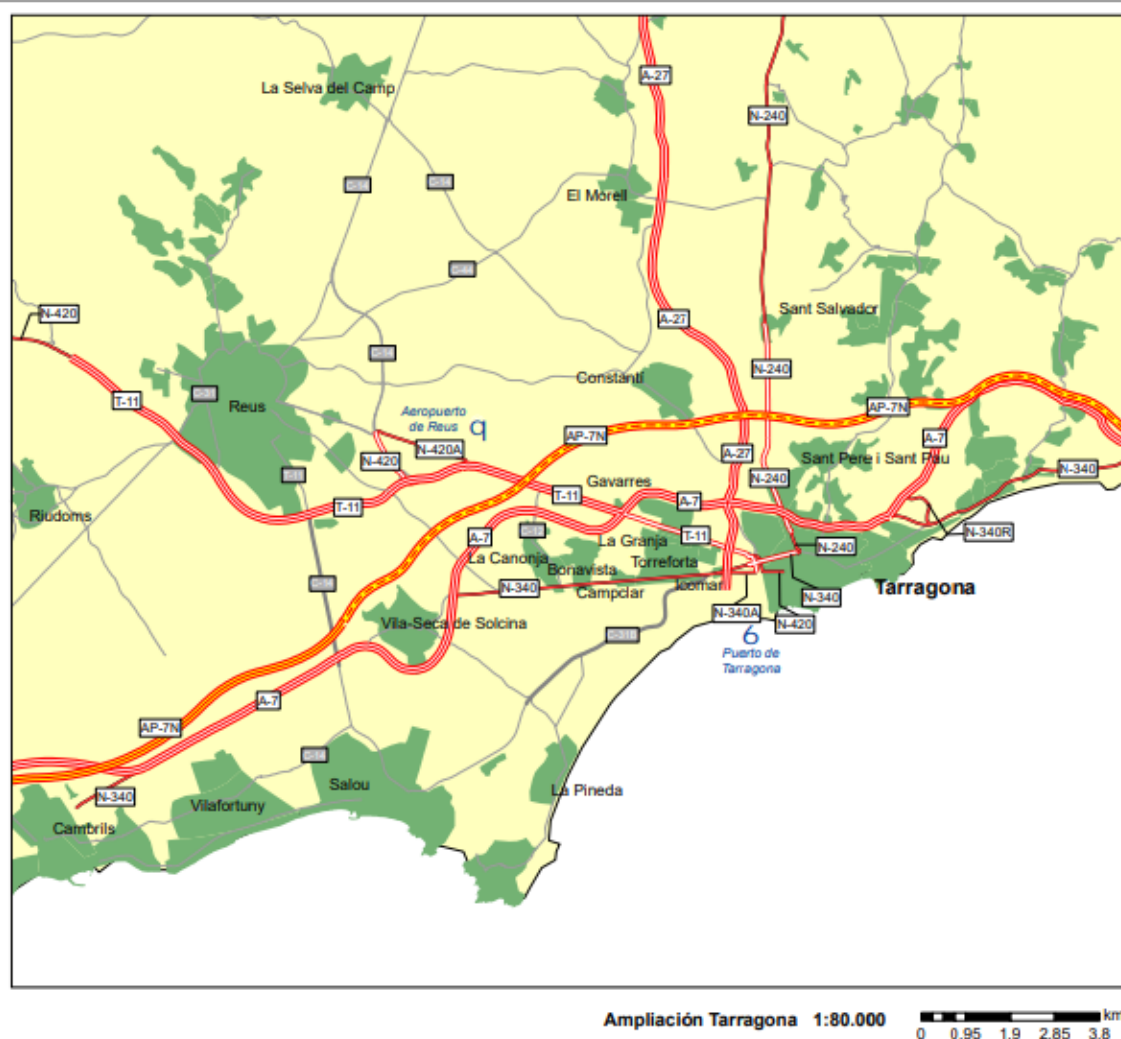


Figura 1.1-3 Mapa de Red de transporte en Reus y zonas próximas. [2]

Las rutas más importantes conectan la ciudad con toda la costa del mar Mediterráneo de España desde el Sur hasta Francia. La carretera nacional N-211 conecta directamente Reus con Madrid.

En la industria no sólo es importante el transporte de mercancías, sino también la facilidad de desplazamiento hacia la planta de los trabajadores. La provincia de Tarragona comparte su frontera con provincias de Barcelona y Lérida, por lo cual, ciudades como Vilafranca del Panedès o Lérida son accesibles en un tiempo de aproximadamente 1 hora vehículo. A parte, las ciudades cercanas a Reus como Tarragona, Vila Seca, Cambrills y otras cercanas son accesibles en aproximadamente 20 minutos con vehículo.

Es importante, y proporciona mucha ventaja, la comunicación de la ciudad con medios del transporte público tales como las redes ferroviarias tanto para transporte de mercancías como para desplazamiento del personal y redes de autobuses.

En Reus desafortunadamente no se encuentra ninguna estación ferroviaria de mercancías. Las estaciones más próximas están en el “Polígono Industrial Constantí” en Constantí a unos 5 km y a unos 12 km la terminal “Tarragona Classificació”, que da servicio al Puerto de Tarragona. Sin embargo, Renfe proporciona modalidad de transporte de mercancías intermodal para distribución de contenedores, cajas móviles y semiremolques y de modalidad siderúrgica para productos planos y/o largos tales como tuberías.

Reus dispone de la conexión de trenes de vía corta RT1 (Reus-Tarragona) y de media distancia R14 (Barcelona-Lleida) y R15 (Barcelona-Riba-roja d'Ebre), que permite el transporte de viajeros. A parte, la municipal Reus dispone de 12 líneas de autobuses de transporte urbano, que conectan el centro con Areopuerto, Campus Bellisens de la Universidad Rovira i Virgili y con los polígonos industriales, también tiene una buena conexión interurbana con ciudades cercanas tales como Tarragona y Salou.

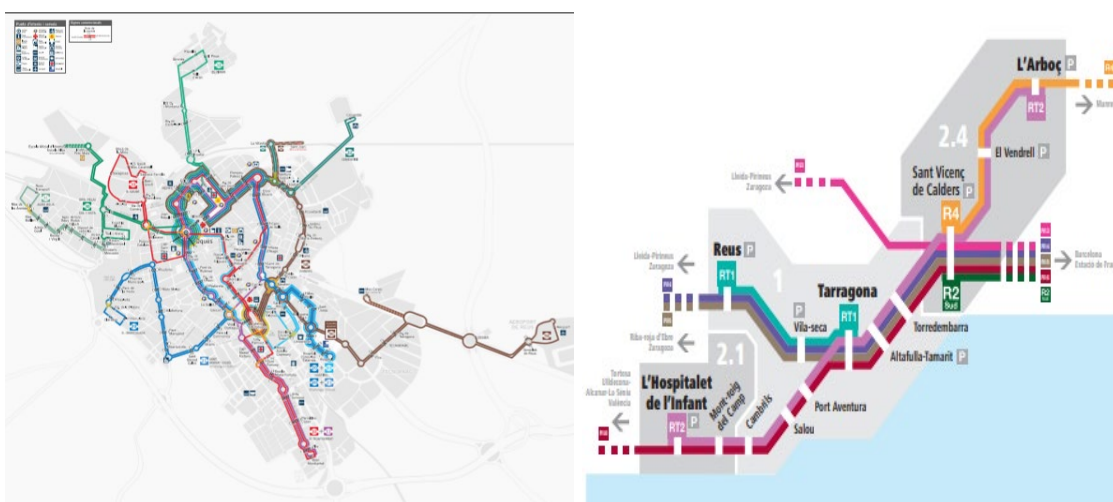


Figura 1.1-4 Red urbana de líneas de autobuses en Reus [4] (izquierda) y Red de Cercanías del Camp de Tarragona [5] (derecha).

Transporte marítimo: El transporte de las mercancías a otros países y continentes vía marítima es muy utilizado. Reus se encuentra cerca de los dos puertos principales en Cataluña. Los puertos más próximos son el Puerto de Tarragona a unos 12 km y el Puerto de Barcelona a aproximadamente 100 km. En Tarragona en 2018 se transportó un total de casi 32 000 toneladas de mercancías vía marítima y en Barcelona unas 66 000 toneladas [6]. Respecto al turismo y transporte de personas el puerto de Barcelona transporta casi 4.5 millones y el de Tarragona unas 98.1 miles de personas. A continuación, se presentan gráficas de carga y descarga mercancías en el Puerto de Barcelona, donde se puede observar, que los productos químicos forman aproximadamente 25% del total. [7]

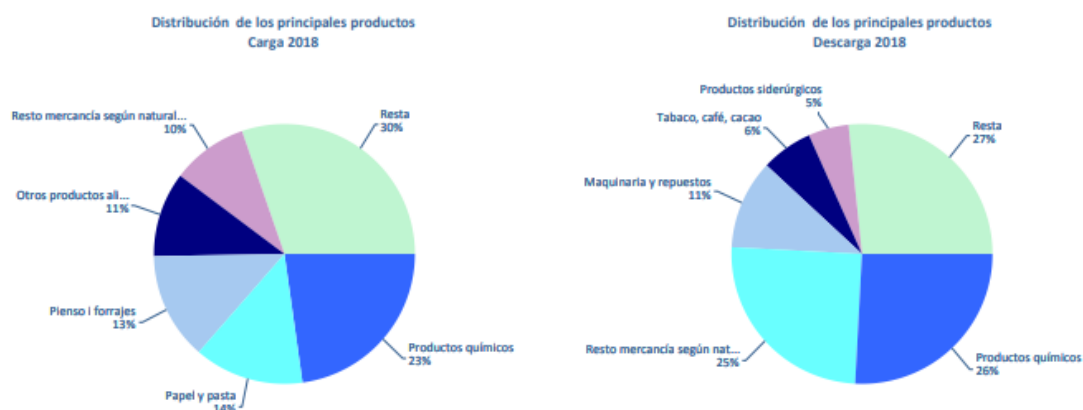


Figura 1.1-5. Representación de la distribución de los principales productos en el Puerto de Barcelona (datos del 2018). [7]

Las figuras siguientes muestran el tráfico marítimo a corta distancia tanto de mercancías como de las personas entre los puertos en Europa y principios destinos de los transportes de mercancías. El tráfico marítimo incluye las Autopistas del Mar (ADM) a nivel europeo que tienen una frecuencia mínima de 3 salidas semanales y máximo 3 escalas. En la figura 1.1-6. se observa, que la mayoría de las mercancías a nivel intercontinental se transporta a China (23%) según los datos del 2018 del Tráfico Marítimo.

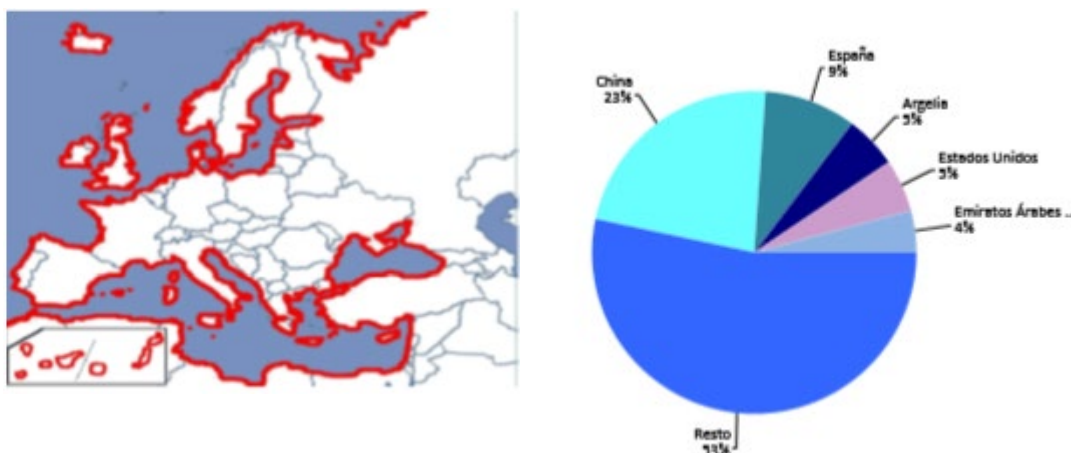


Figura 1.1-6. Mapa del Tráfico Marítimo a corta distancia (izquierda) y los principales destinos intercontinentales del transporte de mercancías en contenedores TEU del puerto de Barcelona (derecha) (datos del 2018). [7]

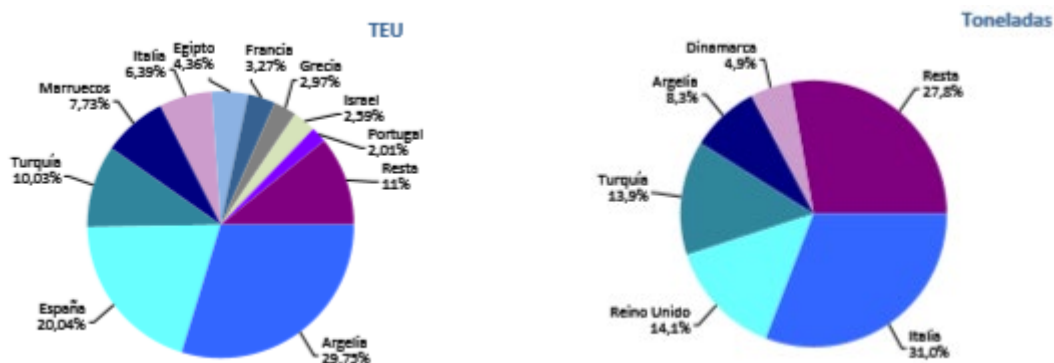


Figura 1.1-7. Representación de la distribución de los principales destinos de transporte de las mercancías a corta distancia en contenedores (TEU) y en toneladas desde el puerto de Barcelona (datos del 2018). [7]

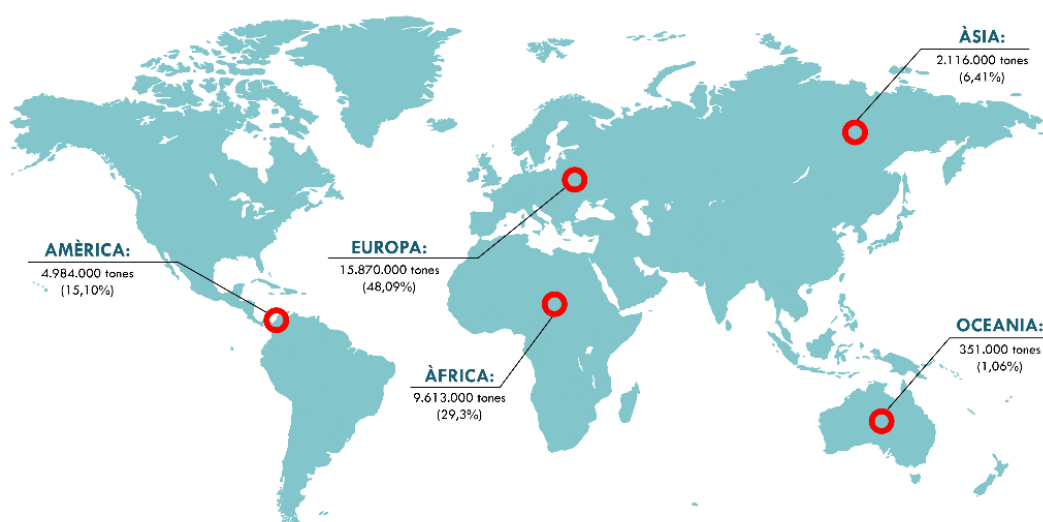


Figura 1.1-8. Representación de la distribución porcentual según el continente del transporte de las mercancías desde el puerto de Tarragona.

Transporte aéreo: Los Aeropuertos principales en la zona próxima son el Aeropuerto de Reus y Barcelona que distan 3 y menos de 100 km respectivamente. En el 2018 en Cataluña se transportó un total de más de 173 000 toneladas de mercancías [8]. El Aeropuerto de Reus no transporta mercancías, sino se dedica a tráfico de pasajeros y operaciones. Sin embargo, el Aeropuerto El-Prat en Barcelona es el 2º aeropuerto en España de tráfico aéreo de carga, en año 2018 transportó 172 939 998 de mercancías. Sin embargo, los aviones no son principales medios de transporte de los bienes para las industrias químicas, pero son muy importantes para el transporte de las personas. El aeropuerto de Barcelona- El Prat Josep Tarradellas transporta más de 50 mil personas tanto con destinos en Europa como intercontinentales y el de Reus más de

mil personas principalmente en el terreno europeo. A continuación, se muestran los mapas con los destinos disponibles desde los aeropuertos mencionados. [9]



Figura 1.1-9. Principales destinos disponibles (datos del 2019) desde aeropuerto de Reus de Aena (izquierda) y de la compañía Ryanair (derecha).



Figura 1.1-10. Principales destinos internacionales e intercontinentales disponibles (datos del 2019) desde aeropuerto de Barcelona (fuente: Aena).

1.1.3.3. Estudio de la población de la zona

Es imprescindible estudiar las poblaciones con acceso fácil a la planta para conocer los recursos humanos. Según los datos de Generalitat de Catalunya la población cuenta de 103 477 personas, donde 52% son mujeres. Un 65% de toda la población en Reus tiene edad trabajadora entre 15-64 años. La comarca Baix Camp, a la cual permanece el término municipal de Reus, consta de una población total de 188 841 personas, de las cuales los hombres forman un 49%.

A continuación, se muestra una tabla, donde se presentan datos de actividad económica en Reus y la zona. Como se puede observar en la Tabla 1.1-3. en el sector de industria hay unas 550 personas en paro en Reus y 908 personas en La comarca Baix Camp. [10]

Tabla 1.1-3. Datos de a la actividad económica de la población. [10]

Trabajo	Reus	Baix Camp	Catalunya
Población. Por relación con la actividad económica. 2011			
Población ocupada	39.719	73.438	3.033.916
Población desocupada	17.541	30.645	1.052.138
Población activa	57.260	104.083	4.086.055
Población inactiva	48.324	86.184	3.386.882
Población de 16 años y más	85.001	154.100	6.223.448
Paro registrado. Por sectores. Medias anuales. 2018			
Agricultura	270,9	465,3	9.105,7
Industria	550,4	908,1	44.929,4
Construcción	720,4	1.162,6	33.585,7
Servicios	4.815,6	8.217,8	278.823,7
Sin empleo anterior	617,5	847,3	26.547,9
Total	6.974,8	11.601,2	392.992,4
Paro registrado. Por sexo. Medias anuales. 2018			
Hombres	2.952,9	4.947,3	169.755,2
Mujeres	4.021,9	6.653,8	223.237,2
Total	6.974,8	11.601,2	392.992,4

Tener una enseñanza universitaria en la zona es una gran ventaja en desarrollo industrial. En Tarragona se encuentra la Universidad Rovila i Virgili (URV), la cual, tiene una amplia docencia y se encuentra a unos 16 km desde Reus. Entre la gran variedad de las carreras el departamento de Ingeniería ofrece grados de Ingeniería Química y de Bioprocesos. La ciudad Reus dispone de 3 facultades pertenecientes a

URV, estos son: la facultad de Ciencias Económicas y Empresariales, La Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSA) y la facultad de Medicina y Ciencias de Salud. Por lo cual, la zona dispone de una gran facilidad de colaborar con la universidad ofreciendo trabajo a los alumnos en varios campos de la empresa y una colaboración con los laboratorios de la universidad. En Reus se encuentra una población de mayores de 16 años con enseñanza universitaria de 14 218 personas y con enseñanza secundaria 49 003 personas según los datos de 2011. [10]

1.1.3.4. Características físicas de la zona

Reus pertenece al clima mediterráneo y a una altitud de 117 m, según la clasificación de Köppen-Geiger en la península Ibérica e Islas Baleares está clasificada como templado con verano seco y caluroso, Csa [11]. La estación meteorológica más importante cercana al termino municipal Reus es la Estación Reus Aeropuerto. A continuación, se nombran algunos datos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología recogidos desde 1981-2010. La temperatura media anual es 16.1°C, el mes más frío es el enero donde esta temperatura es de 9°C y el mes más caluroso con una temperatura media anual de 24.6°C es el agosto. La humedad relativa media durante el año varía entre 63-73%. [12] Según los datos recogidos el año 2018 la temperatura máxima absoluta fue de 39.8°C y la temperatura mínima absoluta fue de -8°C registrada en año 1983. Otro aspecto climatológico importante son las lluvias. La precipitación anual media en Reus es de 500 mm, los meses con más precipitación son septiembre y octubre (≈76 mm), también noviembre y mayo (≈54mm). A parte, se debe tener en cuenta que en invierno se pueden producir heladas [13].

Cataluña se encuentra en la zona 1 del riesgo sísmico con una intensidad máxima VI según la escala MSK. Reus según la clasificación geotécnica tiene un tipo de suelo R, que corresponde a una roca dura y sismicidad moderada de la región. La ciudad está en la zona de ligeros daños de edificios según la clasificación de vulnerabilidad de edificios [14]. La última actividad sísmica registrada fue en 1991 con una profundidad del foco de 9 km y magnitud local de 3.1 [15].

1.1.4. Abreviaciones

1.2. Características de los reactivos y producto

1.2.1. Reactivos

El **Fenol** (C_6H_6O o C_6H_5OH) [16] es el reactivo principal con el que se hará el API de la empresa. Este es un compuesto orgánico e hidrocarburo. Se puede obtener con la oxidación parcial del benceno. A temperatura ambiente y en su forma pura es un sólido cristalino de color blanco-incoloro, con un olor dulzón y a alquitrán que se asemeja al olor de un hospital, por lo contrario, si hay impurezas o se expone a la luz se puede encontrar con un color rosado o rojo.

El fenol se evapora más lentamente que el agua y no reacciona en contacto con este. El fenol es combustible, por lo tanto, en caso de incendio debe apagarse con rocío de agua, CO_2 , químicos secos o extintores de espuma. Es tóxico y corrosivo y sus gases son explosivos en contacto con fuego o a temperaturas elevadas ($79^\circ C$), en medio acuoso la solución se vuelve ácida y a temperaturas elevadas puede actuar como un semisólido. También se alcanza con rapidez concentraciones nocivas de partículas al dispersarse en el aire, sobre todo al pulverizarse.

El fenol se usa principalmente en la producción de resinas fenólicas y para fabricar nylon y otras fibras sintéticas. Es muy utilizado en la industria química, farmacéutica y clínica. Desafortunadamente es uno de los principales desechos de industrias carboníferas y petroquímicas.

De ser ingerido en altas concentraciones, puede causar envenenamiento, vómitos, inflamación gastrointestinal y decoloración de la piel. También es muy irritante para tejidos (piel) además de producir adormecimiento y quemaduras, para los ojos y el sistema respiratorio. Es carcinógeno. La muerte y la toxicidad grave afecta al sistema nervioso, al corazón, a los pulmones, los riñones y el hígado. Y la exposición aguda provoca shock, delirio, coma, orina escasa / oscura y muerte. Los derrames de este compuesto deben tratarse con agua y después una solución de soda caústica para neutralizar.

Tabla 1.2-1. Propiedades físicas del Fenol.

Propiedades físicas: Fenol	
Fórmula molecular	C₆H₅OH
Peso Molecular (g/mol)	94.11
Punto de ebullición (°C)	182
Punto de fusión (°C)	43
Punto de inflamación (°C)	79
Solubilidad en agua a 20 °C (g/L)	84 (Moderada)
Densidad (g/cm³)	1.06
Densidad relativa del vapor (g/L)	3.2
Presión de vapor a 20 °C (Pa)	47
Temperatura de autoignición (°C)	715
Límite de explosividad (% Volumen seco)	1.36-10
Viscosidad a 50 °C (μPa·s)	3.44

El **Hidróxido de Sodio** (NaOH) o **Hidróxido Sódico** [16] se conoce también como sosa cáustica. Este compuesto mayoritariamente se sintetiza por un método llamado caustificación, que trata principalmente de juntar un hidróxido con un compuesto de sodio, aunque actualmente se fabrica con una electrólisis de una solución de sódico o salmuera, o como subproducto para obtener cloro. A temperatura ambiente, es un sólido blanco cristalino sin olor que absorbe la humedad del aire (higroscópico), aunque en forma líquida es incoloro y más denso que el agua.

Desprende una gran cantidad de calor cuando se neutraliza con ácidos o se disuelve en agua (es una base fuerte) y puede ser una fuente de ignición para materiales combustibles y puede provocar la explosión de los contenedores. No es combustible, pero puede a ver riesgo de incendio y explosión en contacto con sustancias incompatibles. El hidróxido de sodio es muy corrosivo. Generalmente se usa en forma sólida o como una solución de 50%. Cuando se calienta hasta descomponerse emite humos tóxicos y corrosivos. En contacto con metales puede desprender gas hidrogeno inflamable.

El hidróxido de sodio se usa en la industria (principalmente como base química) en la fabricación de papel, tejidos, detergentes, jabones, explosivos, pintura etc. Además, se utiliza en la industria petrolera y a nivel doméstico.

El hidróxido de sodio es tóxico por ingestión oral y es corrosivo para todos los tejidos. Los vapores concentrados causan daños graves a los ojos (causando rojez, dolor, visión borrosa y quemaduras severas) y al sistema respiratorio (provoca tos, dolor de garganta, sensación de quemarse y falta de aliento), la ingestión oral causa necrosis tisular grave pudiendo causar la muerte, además de otros síntomas como dolor abdominal, quemaduras en boca y garganta, sensación de ardor en la garganta y el pecho, náusea y vómitos. El contacto con la piel puede provocar rojez, dolor, quemaduras graves y ampollas, también causa dermatitis de contacto, pérdida de cabello y necrosis por irritación severa. No se pueden esperar tumores si se evitan los efectos de la irritación.

Tabla 1.2-2. Propiedades físicas del Hidróxido de Sodio.

Propiedades físicas: Hidróxido de Sodio	
Fórmula molecular	NaOH
Peso Molecular (g/mol)	40
Punto de ebullición (°C)	1388
Punto de fusión (°C)	318
Solubilidad en agua a 20 °C (g/100 ml)	109 (Muy elevada)
Densidad (g/cm³)	2.1
Densidad relativa del vapor (g/L)	-----
Presión de vapor a 20 °C (Pa)	0
Viscosidad a 350 °C (cP)	4

El **Dióxido de Carbono** (CO₂) [16]. Es un compuesto químico que se encuentra en la atmosfera y está formado por un átomo de carbono unido mediante enlaces covalentes dobles a dos átomos de oxígeno. Es un gas incoloro, inodoro y vital para la vida en la Tierra y solo la encontramos con una fracción molar de 400 ppm, además es más pesado que el aire y soluble en agua y su transporte es en forma líquida en cilindros presurizados o sistemas de almacenamiento a granel. También se encuentra en líquido a baja temperatura, siendo incoloro y en sólido blanco inodoro, conocido como “hielo seco”.

Es un material industrial versátil que se utiliza como gas inerte en soldadura y extinguidores de incendio, también actúa como presurizado de gas de aire comprimido y recuperador de petróleo, como materia prima química y en forma líquida como solvente en la descafeinización y secador supercrítico. Es utilizado como refrigerante,

para controlar reacciones y abrasivo de ráfagas a presión. Puede provocar asfixia por desplazamiento del aire y con exposiciones prolongadas al calor o el fuego, puede romper violentamente o explotar el contenedor y dispersarse. Puede provocar gases tóxicos, monóxido de carbono, si se descompone al calentarse (+200 °C).

Este compuesto se puede obtener en la naturaleza y es liberado por rocas carbonatadas al diluirse en agua, ya que es muy soluble en esta, y ácidos. También se encuentra en yacimientos de petróleo y gas natural. El dióxido de carbono es un importante gas de efecto invernadero, lo que ha llevado a un calentamiento global 1.5.

La exposición humana al CO₂ son dolores de cabeza, mareos, inquietud y malestar. Este gas es un depresor del sistema nervioso, lo que provoca que aumente la agudeza auditiva, frecuencia cardíaca, la presión arterial y el pulso. La exposición a poca concentración (7-10%) produce inconciencia en pocos minutos y a concentraciones más elevadas (+10%) produce aumento de la frecuencia respiratoria, taquicardia, arritmia, alteración de la consciencia, convulsiones, coma y muerte. En estado sólido provoca quemaduras i congelación severa. Calentándose rápidamente produce más cantidades y puede ser peligroso sobre todo en espacios cerrados, ya que desplaza el aire y provoca disnea, asfixia y ceguera temporal. Además, produce picazón en los ojos, la nariz y la garganta.

Tabla 1.2-3. Propiedades físicas del Dióxido de Carbono.

Propiedades físicas: Dióxido de Carbono	
Fórmula molecular	CO₂
Peso Molecular (g/mol)	44.01
Punto de ebullición (°C)	-79
Punto de fusión (°C)	-43
Solubilidad en agua a 25 °C (ml/100 ml)	88
Densidad (g/L)	1.79
Densidad relativa del vapor (g/L)	1.5
Presión de vapor a 20 °C (kPa)	5720
Viscosidad a -78 °C (cP)	0.07

El **Anhídrido Acético** ($(\text{CH}_3\text{CO})_2\text{O}$ o Ac_2O) [16], es uno de los anhídridos carboxílicos más simples y un reactivo muy utilizado en la síntesis orgánica. Este compuesto puede ser sintetizado con diferentes métodos: industrialmente se sintetiza oxidando el acetaldehído con O_2 , formándose ácido peracético ($\text{CH}_3\text{C}(=\text{O})\text{OOH}$) que reacciona catalíticamente con acetaldehído, crearse a partir de un método llamado pirolisis, que pasa de ácido acético a cetona ($\text{CH}_2=\text{C}=\text{O}$) que reacciona con una molécula de ácido acético para formar el anhídrido acético o por carboxilación catalítica (empleando monóxido de carbono) del acetato de metilo. Es un líquido incoloro, que huele fuertemente a vinagre (ácido acético) que se forma por la reacción que se produce con la humedad del aire.

El anhídrido acético es corrosivo para metales y tejidos, irritante e inflamable. También puede actuar como deshidratante y en soluciones acuosas no es estable, porque éste descompone en unos pocos minutos y emite humos tóxicos, aunque el tiempo viene muy influido por la temperatura. A demás, es inflamable y tóxico.

El Ac_2O se utiliza mucho en química para la acetilación de alcoholes y aminas. La mayor parte de la producción de anhídrido acético va a parar a la fabricación de acetato de celulosa, que es utilizado para plásticos y fibras textiles. Otras aplicaciones, por ejemplo, son la síntesis de detergentes y la síntesis de fármacos como el ácido acetilsalicílico (aspirina), como es nuestro caso, o el paracetamol.

Se sabe, que es un compuesto muy irritante, sobre todo que afecta a los ojos y la piel. La salpicadura de este compuesto en la piel puede producir rojez, quemaduras y ampollas. El vapor concentración irritación primaria, además de tos, respiración forzada, disnea y dolores de garganta. La exposición prolongada puede conducir a edema pulmonar y muerte. El efecto inmediato de la exposición a concentraciones de vapor por encima de 5 ppm es la irritación aguda del ojo, conjuntivitis, lagrimeo e incluso quemaduras, rojez y dolor. Su ingesta, produce dolor abdominal y quemaduras.

Tabla 1.2-4. Propiedades físicas del Anhídrido Acético.

Propiedades físicas: Anhídrido Acético	
Fórmula molecular	(CH₃CO)₂O
Peso Molecular (g/mol)	102.09
Punto de ebullición (°C)	139
Punto de fusión (°C)	-73
Punto de inflamación (°C)	49
Solubilidad en agua a 20 °C (g/L)	120 (Reacciona)
Densidad relativa (g/cm³)	1.08
Densidad relativa del vapor (g/L)	3.5
Presión de vapor a 20 °C (kPa)	0.5
Temperatura de autoignición (°C)	316
Límite de explosividad (% Volumen seco)	2.7-10.3
Viscosidad a 25 °C (μPa·s)	0.843

La cal o cal viva, es como se les llama a todas las formas físicas del **Óxido de Calcio (CaO)**, [16] es un compuesto que se obtiene por la calcinación de las rocas calizas que tiene alto contenido de carbonato de calcio (CaCO₃) a altas temperaturas (900°C). Normalmente el CaO se encuentra en estado sólido inodoro, blanco o gris-blanco en forma de bultos duros y en grados comerciales tiene un color amarillento o pardo, debido al hierro.

Esta sustancia es corrosiva, sobre todo y muy fuerte para tejido vivo, carcinógeno y no es combustible ni inflamable. Es soluble en glicerol, ácidos y soluciones de azúcar, también es insoluble en alcohol (etanol) y ligeramente soluble en agua. Al solubilizarse con el agua se forma hidróxido de calcio (se descompone en este compuesto) y generar gran cantidad de calor. El CaO absorbe fácilmente el CO₂ y el agua del aire, convirtiéndose en aire apagado. El óxido en polvo puede reaccionar explosivamente con el agua.

La cal tiene varias aplicaciones, se ha usado desde la antigüedad en el ámbito de la construcción (edificación o infraestructuras) como conglomerante, para pintar muros y fachadas de los edificios o en la fabricación de fuego griego. También se usa en el ámbito de la industrial (química, alimentaria, vidrio...), el medio ambiente para tratamientos y depuración de gases y la agricultura para fertilizantes e insecticidas.

Hay diferentes rutas de exposición que pueden provocar graves efectos locales por todas las vías de exposición, estas son la inhalación, ingestión, contacto con la piel y/o los ojos. En cuanto los síntomas que provocan varían dependiendo de la zona que se exponga a este compuesto, aunque a rangos generales esta sustancia provoca irritación en ojos, piel y mucosas, también provoca neumonitis, quemadura en la piel y la pérdida de cabello.

Si se concreta más, se puede encontrar los síntomas de inhalación, esto provoca dolor de garganta, tos y quemazón, además de falta de aliento. En cuanto a síntomas por contacto de piel u oculares se tiene rojeces, dolor, quemaduras graves, aunque la única diferencia son las ampollas para la exposición en la piel y la visión borrosa para la exposición ocular. Por último, hay riesgo de posibles daños por ingestión, los síntomas son dolores abdominales, quemaduras y ardores de garganta, boca y pecho, además de vómitos, náuseas y colapsos.

Tabla 1.2-5. Propiedades físicas de Óxido de Calcio.

Propiedades físicas: Óxido de Calcio	
Fórmula molecular	CaO
Peso Molecular (g/mol)	55.96
Punto de ebullición a 101.33 kPa (°C)	2850
Punto de fusión (°C)	2570
Solubilidad en agua a 25 °C (g/L)	1.19 (Reacciona)
Densidad relativa del vapor (g/L)	3.34
Presión de vapor (Pa)	0

1.2.2. Productos y Subproductos

1.2.2.1. Productos

El **Ácido o-acetilsalicílico** ($C_9H_8O_4$) [16], también conocido como **Aspirina**, nombre de es un fármaco de la familia de los salicilatos. El ácido acetilsalicílico fue sintetizado por primera vez fue al combinar el salicilato de sodio con cloruro de acetilo. En la segunda mitad del siglo XIX Bayer comenzaron a estudiar la aspirina para reemplazarlo por compuestos salicilatos, ya que estos son más irritantes, este se sintetiza con una esterificación con el ácido salicílico y el anhídrido acético y se utiliza como catalizador en pequeñas cantidades de ácido sulfúrico. Estas sustancias son

cristales blancos inodoros (aunque tiene un toque de olor a vinagre, producido por el acético) o polvo cristalino con un sabor ligeramente amargo.

Este compuesto es combustible i algunas mezclas dispersas en el aire son explosivas. Al calentarse (140 °C) se descompone emitiendo humo acre. También son peligrosos para el medio ambiente.

Se utiliza como medicamento para tratar el dolor (analgésico), la fiebre (antipirético) y la inflamación (antiinflamatorio), debido a su efecto inhibitorio bloquea el funcionamiento de las plaquetas. Este compuesto puede disminuir a largo plazo los ataque al corazón, accidentes cerebrovasculares, los coágulos de sangre y el cáncer. La aspirina también puede provocar indigestión (náuseas y vómito), úlceras y asma. También provoca rojez, dolores de garganta y ojos, y tos.

Tabla 1.2-6. Propiedades físicas del Ácido Acetilsalicílico.

Propiedades físicas: Ácido Acetilsalicílico (Aspirina)	
Fórmula molecular	C₉H₈O₄
Peso Molecular (g/mol)	180.16
Punto de ebullición (°C)	140
Punto de fusión (°C)	135
Punto de inflamación (°C)	250
Solubilidad en agua a 15 °C (g/100 ml)	0.25 (Escasa)
Densidad relativa (g/cm³)	1.4
Presión de vapor a 25 °C (Pa)	0.004
Descomposición (°C)	140

1.2.2.2. Subproductos

El **Agua** (H₂O) [16] es una sustancia o molécula formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. El término agua generalmente se encuentra en estado líquido, aunque se puede encontrar en forma sólida (hielo) y gaseosa (vapor). Es esencial e imprescindible para el origen y la supervivencia de la gran mayoría de las formas de vida. El agua pura se ha descrito tradicionalmente como incolora, inodora e insípida, aunque el agua para el consumo normalmente contiene minerales y sustancias orgánicas en disolución que le pueden aportar sabores y olores más o menos detectables.

El agua también es fundamental para la neutralidad ácido-base. Se usa mayoritariamente como disolvente y se considera neutra, es decir, tiene un pH de 7.

Durante el proceso el agua evaporizada se podrá aprovechar como una fuente de calor. A parte, siendo un líquido relativamente barato está utilizado en las industrias para la red de servicios (enfriamiento, calentamiento, extinción).

Tabla 1.2-7. Propiedades físicas del Agua.

Propiedades físicas: Agua	
Fórmula molecular	H ₂ O
Peso Molecular (g/mol)	18.015
Punto de ebullición (°C)	100
Punto de fusión (°C)	0
Densidad a 20 °C (g/cm³)	1
Presión de vapor a 25 °C (kPa)	3.17
Calor específico (J/g·K)	4.184
Viscosidad dinámica a 20 °C-1 atm (μPa·s)	1

El **Sulfato de Sodio** o sulfato sódico (Na₂SO₄) [16] es una sal de sodio inorgánica, que actualmente se obtiene de minas de glauberita (mineral) y de la explotación de lagos salados. También se puede obtener como subproducto en el proceso de neutralización del ácido sulfúrico. Este compuesto es una sustancia en forma de cristales incolora o polvo fino cristalinos blancos, con una buena solubilidad en el agua y, por lo contrario, se disuelve muy mal en disolventes orgánicos. El sulfato de sodio anhidro tiene propiedades higroscópicas, por lo tanto, tiene la capacidad de absorber la humedad del aire.

El sulfato de sodio decahidratado (Na₂SO₄·10H₂O) se disuelve en agua bajo enfriamiento de la disolución por efecto entrópico. La sal deshidratada, sin embargo, libera energía (reacción exotérmica) al hidratarse y disolverse. Al enfriarse una disolución saturada, a menudo se observa sobresaturación. Al calentarse este compuesto se descompone produciendo humos tóxicos de óxido de azufre y de sodio.

Se emplea en la fabricación de la celulosa y como aditivo en la fabricación del vidrio y plástico. También se añade en detergentes en polvo mejorando su comportamiento mecánico. Se usa como desinfectante, pero causa irritación después de un pequeño

periodo de tiempo. Tiene utilidad en toxicología como acelerador del tránsito intestinal y se utiliza en alimentos como acidulantes.

Puede resultar en irritación gastrointestinal, que provoca náuseas, vómitos y dolores abdominales y diarrea.

Tabla 1.2-8. Propiedades físicas del Sulfato de Sodio.

Propiedades físicas: Sulfato de Sodio	
Fórmula molecular	Na₂SO₄
Peso Molecular (g/mol)	142.04
Punto de ebullición (°C)	1429
Punto de fusión (°C)	888
Solubilidad en agua a 20 °C (g/L)	445.47 (Muy elevada)
Densidad relativa (g/cm³)	2.7
Viscosidad a 20 °C	2.48

El compuesto químico **Acetato de Calcio** (Ca(CH₃COO)₂) [16] o Etanoato de calcio (nombre estándar) es la sal de calcio que se encuentra en el ácido acético, que se puede encontrar en dos formas, o en forma de anhidro o monohidratado. Es un compuesto que tiene un aspecto de polvo blanco (en cristales voluminosos si esta hidratado), tiene un ligero sabor amargo y huele leve a ácido acético, ya que como se ha mencionado antes es una sal de este compuesto. Además, es una sustancia higroscópica, por lo tanto, absorbe la humedad del aire, causa que provoca que su forma más utilizada sea la monohidratada.

Este compuesto no presenta ningún tipo de peligro para la salud. Aunque a grandes cantidades puede ser nocivo y combustibles en condiciones muy específicas. Es muy soluble en agua y ligeramente en alcohol, aunque si hay una solución saturada puede formar un gel semisólido inflamable, pero muy insoluble al tratarse de etanol o benceno. Esta sustancia suele descomponerse al calentarse por encima de su punto de fusión, que es 160°C, esta descomposición al ser calentado produce humos, humos acres y puede producir el compuesto explosivo i/o inflamable acetona.

Los síntomas de sobredosis incluyen hipercalcemia leve (estreñimiento, pérdida de apetito, náuseas y vómitos) e hipercalcemia grave (confusión, pérdida total o parcial de la conciencia, lenguaje incoherente). La sustancia puede ser absorbida por el cuerpo por inhalación y por ingestión. Según la vía de exposición por inhalación existen dos

síntomas importantes que son a tos y el dolor de garganta, para la vía oral provoca diarrea y vómitos y por vía cutánea u ocular se tiene principalmente rojez y para la segunda vía de exposición amas a más provoca dolor.

Tabla 1.2-9. Propiedades físicas del Acetato de Calcio.

Propiedades físicas: Acetato de Calcio	
Fórmula molecular	Ca(CH₃COO)₂
Peso Molecular (g/mol)	158.17
Punto de fusión (°C)	160
Solubilidad en agua a 0°C (g/100 cc)	37.4 (Muy buena)
Solubilidad en agua a 100°C (g/100 cc)	29.7 (Muy buena)
Densidad relativa (g/cm³)	1.5
Descomposición (°C)	200
pH (10%)	6 a 9
Descomposición (°C)	> 160

1.2.3. Intermedios de Reacción

El **Fenolato de Sodio** o **Fenóxido de Sodio** (C₆H₅NaO) [16] es un compuesto orgánico, que se encuentra como un sólido cristalino blanco. El fenolato se produce tratando fenol con el hidróxido de sodio, donde el anión es la base conjugada del fenol. El fenolato de sodio cristalino adopta una estructura compleja que involucra múltiples enlaces Na-O, en el cual, cada centro de Na está unido a tres oxígenos. El fenóxido de sodio se produce por la "fusión alcalina" del ácido bencenosulfónico y el desplazamiento del grupo sulfonato por el hidroxido. Además, es una sustancia higroscópica, por lo tanto, absorbe la humedad del aire.

Es una sustancia muy corrosiva para metales, además al descomponerse se convierte en ácido y emite humos tóxicos a la atmósfera.

Utilizado como antiséptico y en síntesis orgánica.

Provoca dolor ardiente y lesiones necróticas en boca y garganta, además de dolor abdominal, vómitos y diarrea sanguinolenta. Crea palidez, sudoración, debilidad, dolor de cabeza y mareos. También provoca pulso irregular débil, hipotensión, respiración superficial, cianosis, palidez, una profunda caída de la temperatura corporal e inconsciencia. A veces se observa disnea, espuma en la nariz y boca y otros signos de

edema pulmonar. Insuficiencia renal moderadamente grave. Muerte por insuficiencia respiratoria, circulatoria o cardíaca.

Tabla 1.2-10. Propiedades físicas del Fenolato de Sodio.

Propiedades físicas: Fenolato de Sodio	
Fórmula molecular	C₆H₅NaO
Peso Molecular (g/mol)	116.1
Punto de fusión (°C)	384
Solubilidad en agua	Muy soluble

El **Salicilato de Sodio** o **Salicilato Sódico** es uno de los 3 compuestos intermedios al producir aspirina, este compuesto, es además la sal de sodio del Ácido Salicílico. Puede prepararse a partir de Sodio fenólico y dióxido de carbono a altas temperaturas y presiones, aunque también se ha sintetizado por hidrólisis de salicilato de metilo con un exceso de Hidróxido de sodio caliente. A temperatura ambiente es un sólido cristalino (polvo) blanco inodoro.

Este compuesto intermedio no es ni combustible, ni inflamable y tampoco explosivo. Pero sí que es tóxico, y dentro de los tipos de toxicidad que hay será un compuesto de toxicidad aguda si se toma por vía oral y también provoca lesiones oculares graves o irritación ocular.

En medicina se usa como analgésico y antipirético e induce a la apoptosis y necrosis en células neoplásicas. También es un sustituto potencial de la Aspirina para las personas que son sensibles a las drogas, aunque con este compuesto también se puede formar este compuesto (Aspirina). Puede ser utilizado como fósforo para la detección de radiación ultravioleta.

El salicilato de sodio pertenece a la familia del salicilato y se sabe que desencadena el Síndrome de Reye en niños y adultos, generalmente después de una infección viral como la gripe o la varicela.

Tabla 1.2-11. Propiedades físicas del Salicilato de Sodio.

Propiedades físicas: Salicilato de Sodio	
Fórmula molecular	$C_7H_5NaO_3$
Peso Molecular (g/mol)	160.11
Punto de ebullición (°C)	-----
Punto de fusión (°C)	213
Solubilidad a 20°C (g/L)	1000
Densidad (g/cm³)	0.56
Presión de vapor a 25°C (hPa)	<0.001
Temperatura de autoignición (°C)	250

El **Ácido Salicílico** ($C_7H_6O_3$) [16] es un compuesto producido inicialmente por fenol e hidróxido sódico formando fenolato. Este fenolato reacciona con dióxido de carbono por sustitución electrofílica y la liberación del ácido con un ácido fuerte, que en este caso será H_2SO_4 . Es la conocida síntesis de Kolbe-Schmitt. Se trata de un sólido incoloro que se suele cristalizar en forma de agujas, aunque se puede encontrar en polvo de cristal que también es transparente y es inodoro. Tiene una buena solubilidad en etanol y éter. Este producto sirve como materia prima para la obtención del ácido o-acetilsalicílico, es decir, Aspirina.

Este compuesto no es corrosivo, y es combustible. Las partículas finas dispersas de este compuesto también pueden provocar explosiones. Cuando se calienta se descompone, emitiendo humos acres e irritantes.

Esta sustancia tiene usos como acciones bacteriostáticas, fungicidas y queratolíticas. También presenta como un compuesto natural en las plantas. Es agente antiinflamatorio y actúa como agente antibacteriano. Este compuesto en grandes cantidades es tóxico, pero en cantidades pequeñas actúa como conservantes de alimentos, antiséptico para los dientes y en productos para la piel.

Es un compuesto puede causar diferentes reacciones depende de a la parte del cuerpo en la que se derrame o tenga contacto. Normalmente las rutas de exposición a este compuesto son por inhalación, de la cual obtenemos síntomas como tos y dolor de garganta e ingestión, que provoca náuseas, vómitos y zumbido en las orejas. La exposición de este en la piel y en los ojos es rojez y dolor.

Tabla 1.2-12. Propiedades físicas del Ácido salicílico.

Propiedades físicas: Ácido Salicílico	
Fórmula molecular	C₇H₆O₃
Peso Molecular (g/mol)	138.12
Punto de ebullición (°C)	211
Punto de fusión (°C)	159
Punto de inflamación (°C)	157
Solubilidad en agua a 20 °C (g/100 ml)	1.8
Densidad relativa (g/cm³)	1.4
Densidad relativa del vapor (g/L)	4.8
Presión de vapor a 130 °C (Pa)	114
Temperatura de autoignición (°C)	540

1.2.4. Reactivo catalizador

El **Ácido Sulfúrico** (H₂SO₄) [16] es un compuesto químico que presenta una estructura piramidal, con el átomo de azufre en el centro y los cuatro átomos de oxígeno en los vértices. Los dos átomos de hidrógeno están unidos a los átomos de oxígeno no unidos por enlace doble al azufre. Este compuesto se puede obtener a partir la oxidación del dióxido de azufre. También se puede obtenerlo principalmente a partir de dos procesos, el más antiguo pero el más utilizado para producir fertilizantes es el proceso de cámaras de plomo (obtención de un ácido diluido (62%-78%)) y el otro método es el proceso de contacto que produce un ácido más puro y concentrado, pero requiere de materias primas más puras y el uso de catalizadores costosos. En ambos procesos el SO₂ es oxidado y disuelto en agua. Normalmente se encuentra en estado líquido oleoso y de forma transparente, incoloro o ligeramente marrón e inodoro.

Es un compuesto extremadamente corrosivo, sobre todo para metales y tejidos. Puede generar mucho calor durante el proceso y por eso muchas veces se le añade al agua para aprovechar la alta capacidad calorífica del agua y la mayor temperatura de ebullición del ácido, y es capaz de encender materiales combustibles, aunque por sí solo no es inflamable. El ácido sulfúrico puede ser explosivo e incompatible con algunas sustancias. Tiene un gran efecto deshidratante sobre moléculas hidrocarbonadas, es decir, capta sus moléculas de agua, para obtener carbono puro. Al calentarse (a la temperatura de ebullición, 340 °C) genera humos muy tóxicos.

Es el compuesto químico más utilizado en la industria de los fertilizantes. También se usa en la industria petroquímica. Algunos procesos en la industria de la madera y el papel requieren ácido sulfúrico, así como algunos procesos textiles, fibras químicas y tratamiento de pieles y cuero. Otras aplicaciones importantes se encuentran en la producción de pigmentos, tratamiento del acero, extracción de metales no ferrosos, manufactura de explosivos, detergentes, plásticos y fibras.

El ácido sulfúrico es corrosivo para la piel, los ojos y las membranas mucosas. La inhalación de este compuesto causa tos, dolor de garganta, quemarse y disnea. El daño ocular por contacto con ácido sulfúrico fue rojez, dolor y quemaduras conjuntivales y de córnea. La muerte puede ocurrir por quemaduras dérmicas. Con su ingesta obtenemos quemaduras en boca y garganta, ardores en el esternón, dolores abdominales y vómitos. Las complicaciones y la mortalidad ocurrieron en pacientes con lesión severa. El ácido sulfúrico y una mayor incidencia de cáncer. También crea problemas en la piel, de las cuales encontramos rojez, dolor, quemaduras graves y ampollas.

Tabla 1.2-13. Propiedades físicas del Ácido Sulfúrico.

Propiedades físicas: Ácido Sulfúrico	
Fórmula molecular	H₂SO₄
Peso Molecular (g/mol)	98.08
Punto de ebullición (°C)	340
Punto de fusión (°C)	10
Solubilidad en agua a 20 °C	Miscible
Densidad relativa a 20 °C (g/cm³)	1.8
Densidad relativa del vapor (g/L)	3.4
Presión de vapor a 20 °C (Pa)	< 10
Descomposición (°C)	340
Viscosidad a 25 °C (μPa·s)	21

1.2.5. Otros compuestos utilizados en la planta

El **Nitrógeno Molecular** o llamado solamente **Nitrógeno (N₂)** [16] es una molécula diatómica formada por dos átomos de nitrógeno. Se obtiene para usos industriales mediante la destilación fraccionada del aire líquido. A condiciones normales de presión y temperatura, se encuentra en forma gas (gas inerte), no metal, incoloro, inodoro e insípido y son más o menos cuatro quintas partes del aire atmosférico, es decir, en un

78%. Condensa a 77K y solidifica a 63K, por ello se emplea principalmente en aplicaciones criogénicas.

El nitrógeno no es tóxico ni combustible, pero a una exposición a largo plazo al fuego o al calor, los recipientes pueden romperse violentamente y dispararse. La única diferencia que distingue al nitrógeno gas del líquido es que, en estado gas puede provocar asfixia, por el desplazamiento del aire y en estado líquido puede causar congelación y se utiliza para la criogenia.

La aplicación más importante es producir amoniaco (por el proceso de Haber), para poder producir fertilizantes y ácido nítrico. Se utiliza para la manufactura y procesos de fabricación, como ensamblar metal, es decir, una parte del componente metálico se contrae con el nitrógeno líquido y se encaja (cuando se dilata al dejar-lo a temperatura ambiente) con el otro. También actúa como atmósfera inerte en tanques de almacenamiento de líquidos explosivos, al fabricar acero inoxidable y componentes electrónicos. El nitrógeno líquido se consigue destilando aire líquido y se usa para la criogenia, ya que condensa a $-195,8^{\circ}\text{C}$. También se usa como refrigerante, para congelar, conservar muestras biológicas y en la industria alimenticia, ya que, al desplazar el oxígeno, disminuye el crecimiento microbiano y no oxida.

No suele producir efectos toxicológicos directos y no tiene perfil toxicológico. Este compuesto actúa por asfixia, ya que al aumentar en una estancia el nivel de nitrógeno disminuyendo así el nivel de oxígeno y puede llegar hasta a un 20.8%. El único efecto directo que causa es la depresión del sistema nervioso que provoca estupor o eufórico, además de incapacidad de razonamiento complejo, de tomar decisiones, cuenta la función motora y disminuye la destreza manual. También puede causar inconsciencia y debilidad. El contacto con nitrógeno líquido puede causar congelación, dolor y quemaduras graves y profundas en la piel. Por lo tanto, para trabajar con nitrógeno puede ser peligroso y debe ser necesario vestir con un equipo personal de protección, como son: guantes largos de trabajo resistente y lentes de protección.

Tabla 1.2-14. Propiedades físicas del Nitrógeno.

Propiedades físicas: Nitrógeno	
Fórmula molecular	N₂
Peso Molecular (g/mol)	28.014
Punto de ebullición (°C)	-196
Punto de fusión (°C)	-210
Solubilidad en agua a 21 °C (g/L)	18.1 (Escasa)

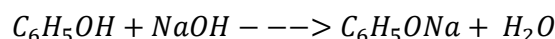
Densidad gas a 0 °C -1 atm (g/cm³)	1.25
Densidad líquida a -196 °C (kg/L)	0.808
Densidad relativa del vapor (g/L)	0.97
Viscosidad a 27 °C (μPa·s)	17.9

1.3. Descripción del proceso de producción

El proceso de producción del ácido acetilsalicílico a partir de reactivos mencionados en el apartado 1.2.1, se basa principalmente en las patentes U.S. 4,376,867 y U.S 6,278,014 B1. Las reacciones principales que tiene lugar son las siguientes:

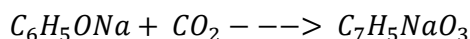
1.3.1. La obtención de fenolato de sodio mediante fenol y NaOH.

Este proceso tiene una elevada velocidad de reacción y es posible obtener una conversión del 100% aunque los reactivos entren en proporción estequiométrica.



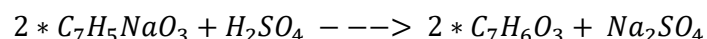
1.3.2. Reacción de carboxilación

La reacción de carboxilación es bastante exotérmica. Se lleva a cabo a una temperatura de 192°C y 6 bar de presión, obteniendo una conversión del 87%. Los fenolatos no reaccionados, bajo las condiciones de operación, se convierten en fenol y son evaporados.



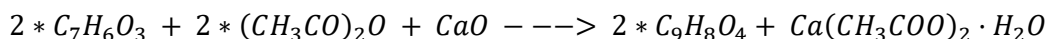
1.3.3. Reacción de precipitación

En esta reacción, el salicilato de sodio obtenido se homogeniza con ácido sulfúrico al 60% en un tanque de precipitación. El ácido ataca el sodio del salicilato, formándose sal de sulfato de sodio.



1.3.4. Reacción de acetilación

Esta es la última reacción del proceso. Aunque la reacción no requiere de condiciones especiales, ya que según la patente U.S. 6,278,014 B1 se puede trabajar a condiciones normales sin problemas obteniendo una conversión total. Una de las características especiales de esta reacción es el aumento de volumen del producto respecto los reactivos, que llega a ser 3 veces mayor al final de la reacción.



1.3.5. Diagrama de bloques

A continuación, es representada el proceso esquematizado de manera secuencial en diagrama de bloques:

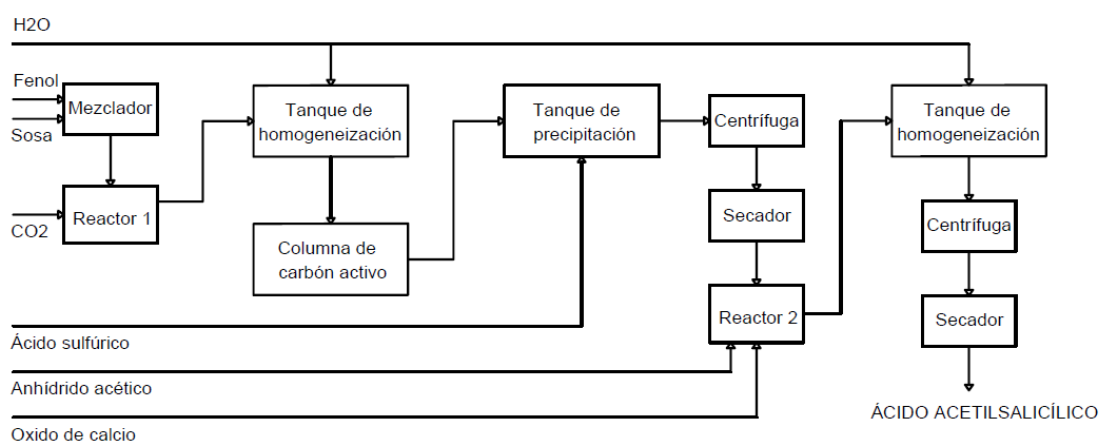


Figura 1.3-1. Diagrama de bloques del proceso de fabricación de ácido acetilsalicílico

1.3.6. Descripción detallada del proceso

El modo de operación es discontinuo y el paso limitante es la etapa de carboxilación, con tal de optimizar el proceso, se multiplicarán el número de operaciones de otros equipos en función de su relación temporal respecto al reactor de carboxilación. En el mezclador (M-201) se realiza una disolución de sosa 50% en peso in-situ, después se añade el fenol en exceso y se calienta la mezcla hasta 100°C, evaporándose el agua añadida y la que se ha formado en la reacción. La masa pasa por un filtro rotatorio de banda de vacío (F-202) hasta su sequedad y el fenol en exceso se recircula. Así se obtiene fenolato de sodio, en forma de polvo muy seco. Esta reacción es muy rápida

pero el tiempo de evaporación es lento, por lo tanto, se han diseñado 3 operaciones de mezclador para cada lote de carboxilación.

Tras el secado, que debe ser riguroso ya que la presencia de agua disminuye el rendimiento, la temperatura se aumenta a unos 192°C y se introduce al reactor 1 (R-204) CO₂ seco (con menos de 0'1% de O₂, para evitar decoloración), a 6 bares.

La masa de reacción se enfría y se lleva a un tanque de homogenización (M-205), donde se disuelve con una cantidad aproximadamente igual de agua, se filtra, y se decolora con carbón activo que contiene partículas de zinc (CA-206 A/B). Se lleva a otro tanque de precipitación (T-207), añadiéndole sulfúrico para precipitar el ácido salicílico. La contaminación con hierro debe evitarse en estas etapas, por lo que estos equipos serán glass-lined. El precipitado se centrifuga y se seca, obteniéndose ácido salicílico de alta pureza. Este se almacena en un tanque pulmón (T-210) para ser dosificado al reactor de acetilación en 4 batch con tal de aprovechar el tiempo y conseguir que el reactor sea más pequeño.

El ácido salicílico, óxido de calcio y el anhídrido acético se alimentan a un reactor de acero inoxidable (R-301). La temperatura se mantiene a menos de 85°C, con buen control de temperatura a lo largo del ciclo. Tras una hora, la masa de reacción se enfría y pasa al homogeneizador 2 (M-302), donde se disuelve el acetato de calcio en agua fría que posteriormente será evaporada (E-308) para separar la sal de calcio y los cristales de aspirina obtenidos se centrifugan. De aquí pasan a etapas de acondicionamiento en la sala blanca. Principalmente son procesos de sacado, molino y tamizado para ser empaquetado.

1.3.7. Diagrama de proceso y balance de materia

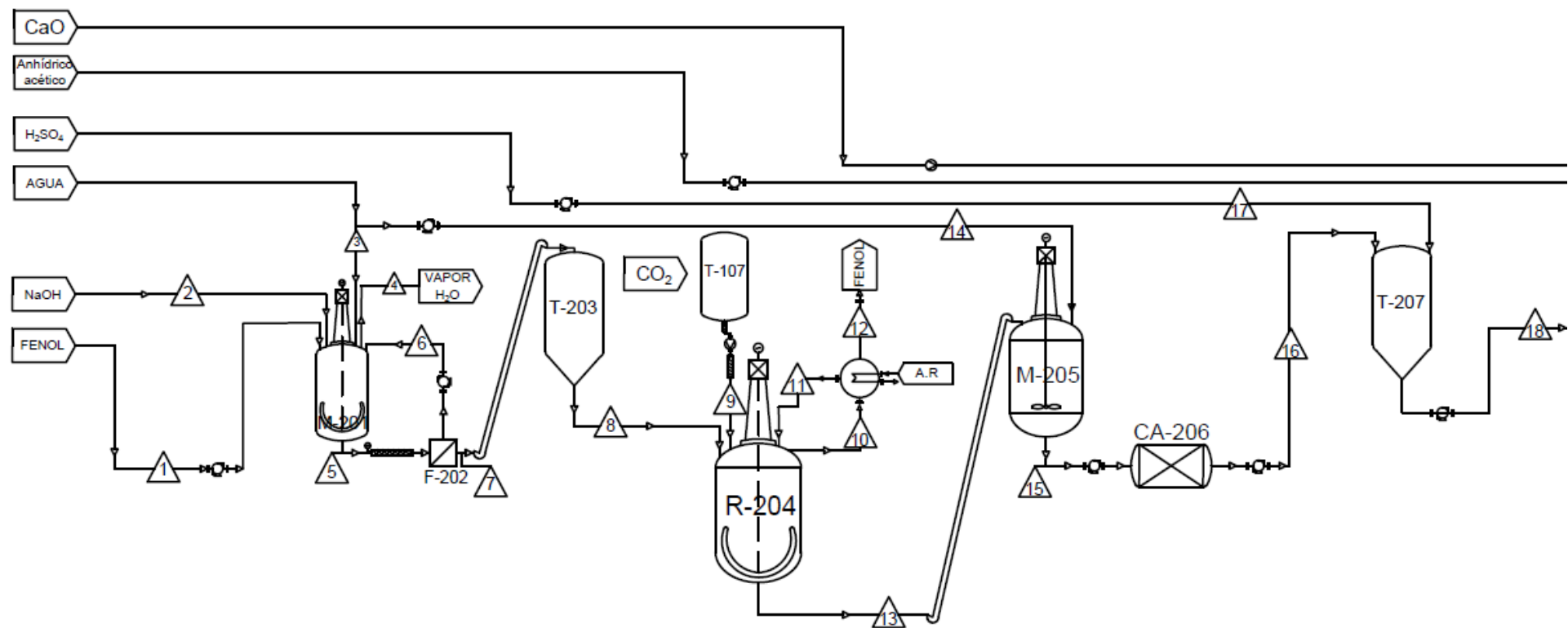


Figura 1.3-2. Diagrama de proceso parte 1/2

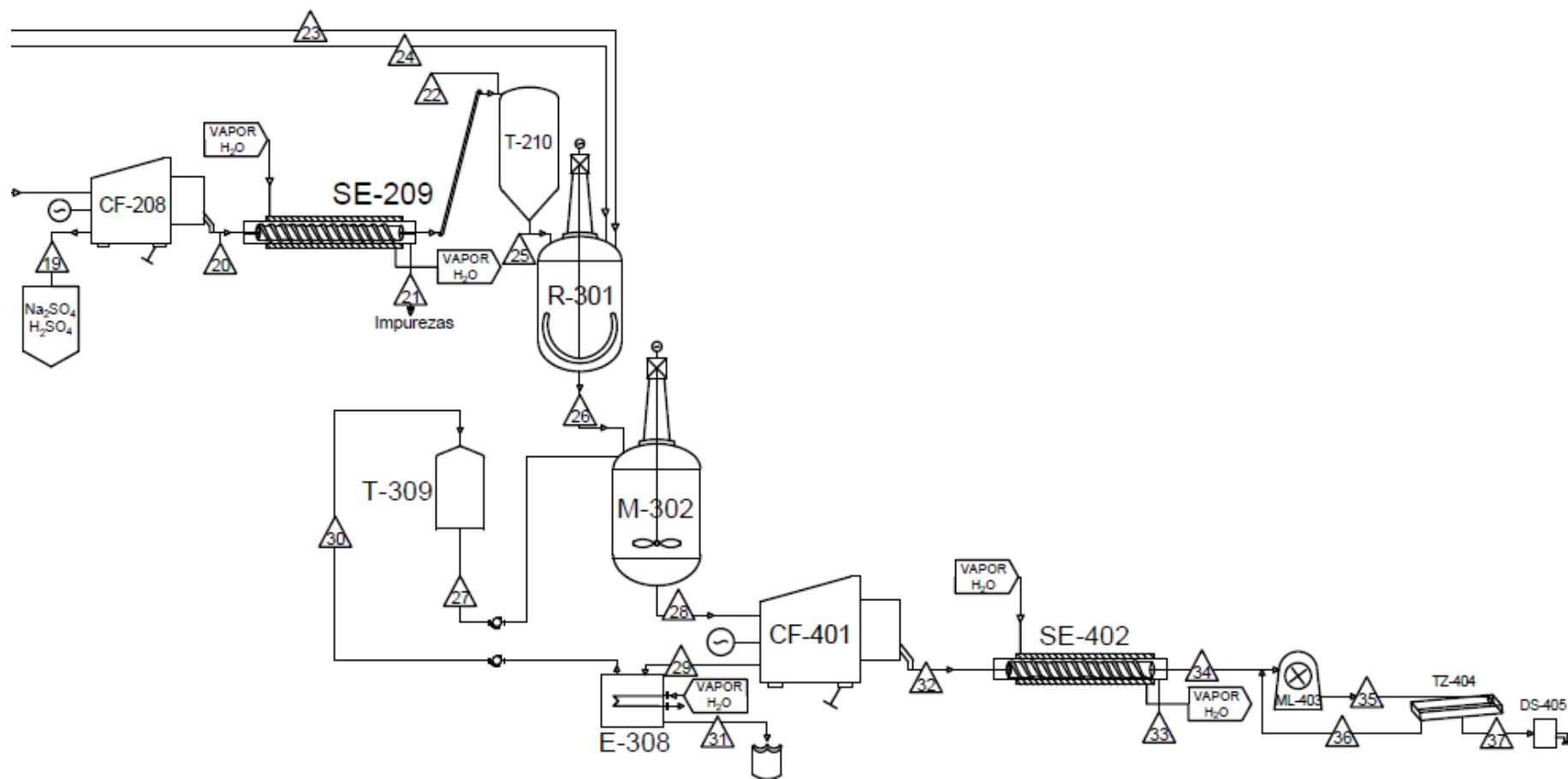


Figura 1.3-3. Diagrama de proceso parte 2/2

Tabla 1.3-1. Balance de materia de la planta 1/3

<i>unidad Kmol</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ácido Salicílico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2O	0,00	0,00	37,33	54,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
fenol	16,80	0,00	0,00	0,00	5,04	5,04	0,00	0,00	0,00	2,18	0,00
NaOH 50%	0,00	16,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	16,80	2,18	2,18
H2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Salicilato de sodio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fenolato de sodio	0,00	0,00	0,00	0,00	16,80	0,00	16,80	16,80	0,00	0,00	0,00
T (°C)	45,00	25,00	25,00	100,00	100,00	95,00	200,00	192,00	192,00	192,00	175,00
P (atm)	2,24	1,00	2,90	1,00	1,00	2,45	1,00	1,00	6,00	6,00	6,00

Tabla 1.3-2. Balance de materia de la planta 2/3

<i>unidad Kmol</i>	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ácido Salicílico	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	14,62	0,73	13,89	0,00	13,89
H2O	0,00	0,00	130,01	130,01	130,01	29,20	159,21	157,62	1,59	1,59	0,00
Na2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,31	7,31	0,00	0,00	0,00
fenol	2,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
NaOH 50%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H2SO4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,04	0,73	0,73	0,00	0,00	0,00
Salicilato de sodio	0,00	14,62	0,00	14,62	14,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fenolato de sodio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T (°C)	175,00	192,00	25,00	52,97	52,97	25,00	47,84	47,84	47,84	47,84	47,84
P (atm)	1,00	1,00	1,93	4,22	1,82	2,88	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabla 1.3-3. Balance de materia de la planta 3/3

<i>unidad Kmol</i>	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Aspirina	0,00	0,00	0,00	13,89	0,00	13,89	0,00	0,00	0,00	13,89	0,00	13,89	13,89	0,01	13,88
Acetato de calcio	0,00	0,00	0,00	6,94	0,00	6,94	6,94	0,00	6,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	6,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ácido Salicílico	0,00	0,00	13,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Anhídrido acético	0,00	13,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H₂O	0,00	0,00	0,00	6,94	183,02	189,96	189,01	189,01	0,00	0,95	0,95	0,00	0,00	0,00	0,00
T (°C)	25,00	25,00	47,84	85,00	5,00	20,56	20,56	100,00	100,00	20,56	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00
P (atm)	1,85	1,74	1,00	1,00	1,95	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

1.4. Especificaciones y necesidades de servicios

El proyecto requiere ciertos servicios complementarios para un correcto desarrollo de la producción de aspirina. Estos servicios incluyen tanto necesidades esenciales como agua, electricidad y gas natural hasta servicios más específicos como agua de refrigeración procedente del chiller o nitrógeno para la inertización de los equipos. Estos servicios se clasifican en energías o fluidos, y según su fuente de obtención. En el caso del agua, para los distintos usos se utilizará el agua de red con los tratamientos necesarios según convenga.

A continuación, se muestra la tabla con la clasificación de los servicios necesarios y su fuente de obtención.

Tabla 1.4-1. Servicios requeridos en la planta

Servicio	Clasificación	Fuente
Agua de red	Fluido	Acometida a pie de parcela
Agua descalcificada	Fluido	Interna
Agua desionizada	Fluido	Interna
Agua de refrigeración	Fluido	Interna
Agua chiller	Fluido	Interna
Agua contra incendios	Fluido	Interna
Vapor	Fluido	Interna
Aire comprimido	Fluido	Interna
Nitrógeno	Fluido	Externa
Electricidad	Energía	Conexión des de la línea
Gas natural	Energía	Conexión a pie de parcela

1.4.1. Agua de red

Este tipo de agua proviene directamente del suministro a pie de parcela y es utilizada como agua base para los equipos del proceso después de pasar por un tratamiento, y para los vestuarios, las oficinas y el laboratorio. También se utiliza en la limpieza y el riego de los parterres. Una red de tuberías distribuirá el fluido por la planta para su posterior tratamiento y uso. Para determinar el total de agua de red utilizada se ha

calculado el agua requerida por los equipos y se ha considerado un 5% de ésta, como el agua destinada a otros usos.

Tabla 1.4-2. Agua de red requerido

Destinación	m ³ /h
Vapor	33.98
Agua de refrigeración	67.81
Agua de chiller	21.92
Agua desionizada	0.80
Otras	6.50
Total	130.82

1.4.2. Agua descalcificada

Para evitar problemas en los equipos producidos por incrustaciones de cal proveniente del agua, es necesario descalcificarla y así maximizar la vida útil de los equipos y garantizar la seguridad. Esta agua provendrá del agua de red y se tratará mediante cuatro descalcificadoras de la empresa CULLIGAN y modelo HB 4500. Ya que el agua de refrigeración y vapor utilizados en el intercambio de calor circulan por un circuito cerrado, solo será necesario el uso continuado de una descalcificadora para el agua que se evaporará y purgará en las torres de refrigeración, y solamente estarán operativas las cuatro para la puesta en marcha de la planta. Estas descalcificadoras utilizan unas resinas en forma de esferas muy pequeñas de un material sintético inerte que retiene las sales de calcio y magnesio del agua. Esta resina se va saturando y es necesaria tratarla. Este modelo está preparado para trabajar en continuo de manera que contiene dos columnas para cuando sea necesario regenerar una, que este trabajando la otra.

La descalcificadora que operará a 124.32 m³/h máxima en hora de puesto de marcha o después de una parada importante, Este equipo tiene un tanque de reserva con una capacidad de 6 m³ para tener una entrada continua de agua en caso de un corte de suministro u otros problemas.

1.4.3. Agua desionizada

El servicio de agua desionizada se encarga de producir agua prácticamente pura a partir de agua de red para abastecer la operación de homogenización, además de abastecer equipos y circuitos que requieran de forma puntual este tipo de agua.

El servicio consta principalmente de dos equipos con los que se lleva a cabo la deionización. Estos equipos son:

1. Prefiltros: se encarga de eliminar una parte de las impurezas del agua para extender el tiempo de vida de las membranas de osmosis inversa.
2. Membranas de osmosis inversa: su función es eliminar la mayor parte de las sales y otras sustancias presentes en el agua.

Para cubrir la cantidad de agua desionizada necesaria unos 14.68 m³/día se han elegido los equipos descritos en la Tabla 1.4-3.

Tabla 1.4-3. Agua desionizada requerido

Equipos	consumo (L/lote)	consumo (m ³ /día)
M-201	672,00	2,69
M-205	2340,00	9,36
M-302	658,80	2,64
Total	3670,80	14,68

1.4.4. Agua de refrigeración

Con las necesidades de intercambio de calor que presenta nuestra planta, el papel del agua de torre de refrigeración es muy importante. Ya que se utiliza tanto en los *coolers* como en los reactores. En la siguiente tabla se muestran las necesidades de agua en el proceso y el equivalente a la energía que tiene que aportar la torre de refrigeración.

Tabla 1.4-4. Agua de refrigeración a 30°C requerido

Equipo	Caudal (m ³ /h)	kW
R-204	5,80	67,48
C-204	47,16	1,60
R-301	3,50	40,68
C-308	11,35	369,70
Total	67,81	479,46

1.4.5. Agua chiller

En el homogeneizador M-302 se necesita una temperatura de entrada de agua desionizada de 5°C para obtener un máximo rendimiento.

El agua de la torre de refrigeración, que es el fluido refrigerante que se utiliza en la mayoría de los casos, no permite operar a esa temperatura, así que se ha optado por agua glicolada. Gracias a esto se puede trabajar debajo de cero sin que se congele. Para enfriar esta agua glicolada se utiliza un chiller, que funciona con electricidad y que enfriará hasta los -5°C. En la siguiente tabla 1.4-5, se presentan la necesidad de agua glicolada principal que tiene la planta.

Tabla 1.4-5. Agua chiller a -5°C requerido

Equipo	Caudal (m ³ /h)	kW
I-309	21,92	383,80
Total	21,92	383,80

1.4.6. Agua contra incendios

Esta fracción del agua de red se utiliza para suministrar los equipos antiincendios y se almacenara en una balsa de reserva. Dicha agua llega a la planta con una presión de 4 bar, por lo que es necesario una balsa para almacenar agua y un sistema de bombeo para que el agua llegue con la suficiente presión al lugar donde se produce el incendio o la explosión.

1.4.7. Vapor de agua

El vapor se utiliza en los intercambiadores de calor para calentar corrientes. Esta agua debe ser descalcificada para evitar incrustaciones en la caldera donde se producirá el vapor dentro de un circuito cerrado. En esta planta solo se encuentra un tipo de vapor, a 175,6°C y 8 bares de presión manométrica. El vapor necesario se genera en una caldera, que calienta agua descalcificada de manera continua. Para dimensionar esta caldera se tiene que conocer el caudal de vapor necesario en la planta y la energía que hay que aplicar para obtener este vapor. Dichos valores se encuentran en la siguiente tabla 1.4-6.

Tabla 1.4-6. Vapor de agua requerido

Equipo	Caudal (kg/h)	Caudal (tn/h)
T-101	8820,00	8,82
T-701	1148,76	1,15
Mixer M-201	6765,00	6,77
Secador SE-209	172,73	0,17
Secador SE-403	97,35	0,10
Evaporador E-402	16974,94	16,97
Total		33,98

1.4.8. Aire comprimido

El aire comprimido se utiliza para enviar las señales electrónicas del transductor y transformarlas en neumáticas para las válvulas de control. El sistema de aire comprimido está formado por un compresor, un filtro con el que se eliminaran las partículas sólidas del aire y un tanque acumulador que permite eliminar la humedad del aire y abastar el pico de consumo.

Para dimensionar la cantidad de aire comprimido necesario en la planta, se supone a partir del número de válvulas de control que lo necesiten y su caudal máximo (3m³/h).

Esta planta dispone 31 válvulas que necesitan aire comprimido, y su caudal máximo será de 93 m³/h. Por lo tanto, el consumo de aire comprimido de la planta en el peor de los casos donde todas las válvulas funcionan simultáneamente es 1550 L/min. A partir de estos datos, se ha escogido un compresor de la empresa PUSKA capacitado para alimentar las necesidades de la planta.

1.4.9. Nitrógeno

El nitrógeno es utilizado para la inertización de los tanques como protección ante la inflamabilidad de los compuestos y para desplazar la humedad del sistema en la puesta en marcha. Este gas será traído por una empresa exterior y se almacenará en un tanque hasta su uso. Está conectado al resto de equipos mediante un sistema de tuberías y válvulas. Para estimar el volumen de nitrógeno necesario en la planta se ha sumado los volúmenes de equipos y es multiplicar por 6 ya que es la presión máxima de operación.

Tabla 1.4-7. Volumen de nitrógeno

Equipos	Volumen (m3) a 1atm
T-101	52,84
S-106	13,57
T-103	33,85
T-104	46,51
S-105	4,95
T-102	5,91
T-309	8,26
T-203	3,31
T-210	1,90
M-201	1,78
T-207	9,44
M-205	8,26
M-302	9,44
R-204	9,50
R-301	3,55
T-701	6,90
Total, a 6 atm	1319,82

1.4.10. Electricidad

El servicio de electricidad se encarga de abastecer todos los equipos que la requieran, así como las instalaciones en las oficinas, sala de control o iluminación de toda la planta.

Este servicio llega a través de una red eléctrica situada la conexión a pie de parcela desde la línea de 20.000V. La planta opera a 230V o 380 V a 50 Hz, por lo que necesita un transformador para disponer del voltaje de trabajo. El consumo punta de la planta es de 551 kW. Se ha seleccionado un transformador de distribución mediano con una potencia de 630 kVA para satisfacer las necesidades eléctricas de la planta.

En el caso de fallo en el suministro eléctrico la planta debe tener un grupo electrógeno que mantenga los servicios funcionando. Este grupo funcionará con gas natural y se encenderá automáticamente en caso de corte eléctrico, abasteciendo a la totalidad de la demanda eléctrica de la planta.

1.4.11. Gas natural

El gas natural es la energía que alimenta las calderas de vapor. Esta energía se obtiene mediante una conexión a pie de parcela a una presión media de 1,5 kg/cm². Se requerirá un caudal continuo de 30000 kg/h de gas natural para alimentar y dar energía a la caldera de vapor.

1.5. Construcción de la planta

Es imprescindible estimar el tiempo de la construcción y realización del proyecto, ya que permite ver los pasos a realizar hasta empezar la producción y el camino crítico. El camino crítico determina las tareas críticas, cuando una tarea crítica se acaba de realizar con retraso todo el proyecto se desplaza en el tiempo. Se debe tener en cuenta durante la realización del plan de realización del proyecto las partes tales como: diseño de la planta, licencias a conseguir, tiempo de construcción en la planta, compra e instalación de maquinaria y equipos, pruebas de los equipos instalados y la puesta en marcha. A continuación, se muestra el diagrama de GANTT de la realización del proyecto de la planta APIRINA.

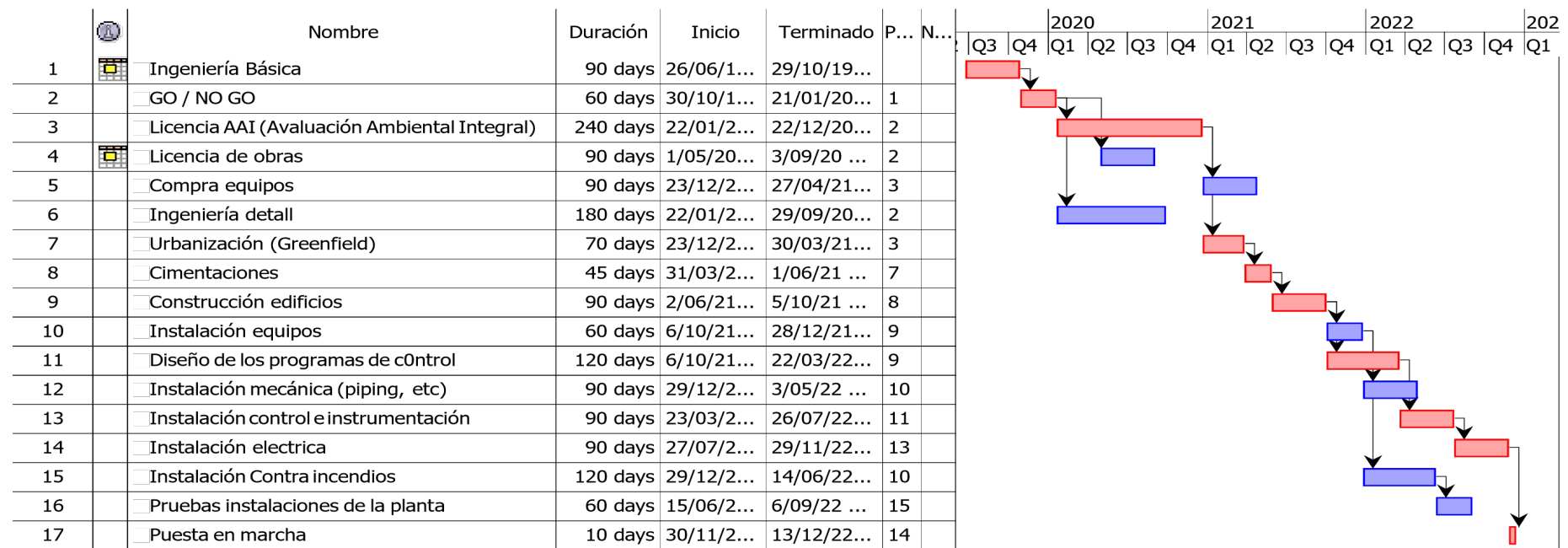


Figura 1.6-1. Diagrama de Gantt del proyecto de la planta APIRINA.

1.6. Bibliografía

- [1] Ayuntamiento de Reus, “*Turismo y ciudad: El territorio y el clima*”, última consulta: marzo 2019 <https://www.reus.cat/la-ciutat/el-territori-i-el-clima>
- [2] Gobierno de España, “*Mapa provincial del tráfico*”, Ministerio de Fomento, última consulta: marzo 2019 https://www.fomento.gob.es/recursos_mfom/plano_provin17.pdf
- [3] Gobierno de España, “*Estudio del corredor ferroviario mediterráneo*”, Ministerio de Fomento, última consulta: marzo 2019
http://www.fomento.es/NR/rdonlyres/1C7244AD-1CB8-46A5-8B3F-D515D2BBBF85/100282/20110314_ESTCORRMEDITERRANEObajo.pdf
- [4] Ayuntamiento de Reus, “*Reus Transport*”, última consulta: marzo 2019
<https://www.reustransport.cat/imprimir/>
- [5] Rodalies de Catalunya, Renfe, “*Servei de rodalia del Camp de Tarragona*”, última consulta: marzo 2019
http://rodalies.gencat.cat/web/.content/00_home/04_mapes/mapa_rodalia_tarragona.pdf
- [6] Instituto de Estadística de Cataluña, “*Transporte marítimo. Tráfico de mercancías*”, última consulta: marzo 2019
<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=anuals&n=10512&lang=es>
- [7] Puerto de Barcelona, “*Estadísticas de tráfico del Port de Barcelona*”, última consulta: marzo 2019
https://contentv5.portdebarcelona.cat/cntmng/guestDownload/direct/workspace/SpacesStore/5df63492-b5d4-48d2-9821-91bbb8ecd233/PortBcnTrafic2018_12_es.pdf
- [8] Instituto de Estadística de Cataluña, “*Transporte aéreo. Movimiento de aeronaves y mercancías*”, última consulta: marzo 2019
<https://www.idescat.cat/indicadors/?id=anuals&n=10510&lang=es>
- [9] Aena, “*Tráfico de pasajeros, operaciones y carga en los aeropuertos españoles*”, última consulta: marzo 2019
http://www.aena.es/csee/ccurl/792/416/Informe2018_provisionales.pdf
- [10] Instituto de Estadística de Cataluña, “*Municipio en cifras. Reus*”, última consulta: marzo 2019 <https://www.idescat.cat/emex/?id=431233&lang=es#hffc0000000000>

-
- [11] Gobierno de España, “*Atlas climático ibérico temperatura del aire y precipitación (1971-2000)*”, Agencia Estatal de Meteorología, última consulta: marzo 2019 http://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Atlas-climatologico/Atlas.pdf
- [12] Gobierno de España, “*Datos climatológicos. Valores climatológicos normales. Reus Aeropuerto*”, Agencia Estatal de Meteorología, última consulta: marzo 2019 <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos/?l=0016A>
- [13] Gobierno de España, “*Datos climatológicos. Valores extremos. Reus Aeropuerto*”, Agencia Estatal de Meteorología, última consulta: marzo 2019 http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/efemerides_extremos*?w=0&k=cat&l=0016A&datos=det&x=0016A&m=13&v=todos
- [14] Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña, “*Evaluación del riesgo sísmico*”, última consulta: marzo 2019 http://www.igc.cat/web/pdf/pdf_es/sismologia_atles_risc.pdf
- [15] Generalidad de Cataluña, “*Territori*”, Departamento de Territorio i Sostenibilidad, última consulta: marzo 2019 http://territori.gencat.cat/web/.content/home/01_departament/estadistica/anuari_estadistic/anuari_estadistic_2017/Territori_poblacio/11_Territori.pdf
- [16] National Center for Biotechnology Information, “*Información sobre los compuestos*”, PubChem, última consulta: marzo 2019 <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>