



SynPhos

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA

Jaume Beà Galvez
Héctor Cazorla Orpí
Carles Lapeña March
Ainara López Agudo
Germán Vegas Montoya

TUTOR:
Oscar Guerrero Sodric

Febrero 2025



SynPhos

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO DE FIN DE GRADO

INGENIERÍA QUÍMICA

CAPÍTULO 1: ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

Índice

1. Especificaciones de proyecto	3
1.1. Definición del proyecto	3
1.1.1. Bases del proyecto	3
1.1.2. Alcance del proyecto	4
1.1.3. Localización de la planta	4
1.1.3.1. Parámetros de edificación de la planta. Plano de la parcela	5
1.1.3.2. Servicios disponibles en planta	6
1.1.4. Características del medio físico	7
1.1.4.1. Climatología	7
1.1.4.2. Viento	7
1.1.4.3. Topografía	7
1.1.4.4. Sismología	7
1.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad a la planta	8
1.2.1. Comunicación viaria	8
1.2.2. Comunicación ferroviaria	8
1.2.3. Comunicación aérea	9
1.2.4. Comunicación marítima	9
1.3. Caracterización de los compuestos implicados en el proceso	10
1.3.1. Materias primas	10
1.3.1.1. Monóxido de Carbono	10
1.3.1.2. Cloro	10
1.3.2. Producto final de interés	11
1.3.2.1 Fosgeno	11
1.3.3. Subproductos	12
1.3.3.1. Tetracloruro de carbono	12
1.3.3.2. Dióxido de carbono	13
1.3.4. Otros productos	13
1.3.4.1. Diisocianato de difenilmétano	13
1.3.4.2. Amoníaco	14
1.3.4.3. Hidróxido de sodio	14

1.4. Proceso de producción.....	15
1.4.1. Métodos de obtención	15
1.4.1.1. Reacción de monóxido de carbono y cloro con luz UV	15
1.4.1.2. Reacción de gas natural (metano) y cloro.....	16
1.4.2. Descripción general del proceso	17
1.4.2.1. Reacción mediante catálisis heterogénea.....	17
1.4.2.2. Descripción detallada del proceso	19
1.4.3. Diagrama de bloques.....	20
1.4.4. Balance de materia.....	22
1.5. Necesidades de servicio de planta.....	23
1.5.1. Agua.....	23
1.5.1.1. Agua de red	23
1.5.1.2. Agua contra incendios	23
1.5.2. Electricidad	24
1.5.3 Aire	24
1.5.4 Gas natural	24
1.6. Constitución de la planta.....	25
1.7. Plantilla de trabajadores.....	26
1.8 Plan temporal	27
1.9 Bibliografía.....	28

1. Especificaciones de proyecto

Se procede a definir las especificaciones del proyecto designado. En este apartado se recoge la definición y las bases del proyecto, así como las necesidades de la planta y de producción.

1.1. Definición del proyecto

En primer lugar, se definen las especificaciones del proyecto, para entender el funcionamiento de los procesos que se van a desarrollar. El objetivo principal del proyecto es estudiar la viabilidad de una planta que procede a fabricar MDI (Diisocianato de difenilmetano) destinado a la fabricación de poliuretanos.

Los productos intermedios necesarios para la fabricación del MDI son Fosgeno y MDA (Metildianilina), los cuales se fabricarán en la misma planta.

En este punto se debe precisar que esta parte del proyecto es la destinada a la fabricación del producto intermedio Fosgeno. Las fases del proceso productivo de la planta que involucran la fabricación de MDA y el producto final MDI forman parte de otro proyecto de la empresa.

1.1.1. Bases del proyecto

Con el objetivo del proyecto expuesto, se deben indicar las especificaciones requeridas para diseñar dicha planta.

- La capacidad de producción de la planta es de 200.000 toneladas al año de MDI.
- La planta cumplirá un total de 335 días productivos al año. Los días restantes se emplearán en paradas técnicas con motivo de mantenimiento y limpieza de las instalaciones y equipos.
- El proyecto de SynPhos se ubica en el municipio de Tarragona. Concretamente en el polígono industrial ‘Satèl·lits’ ubicado en el ‘Pol Petroquímic’. Durante todo el diseño del proyecto y de la planta, se cumplen los límites establecidos por la normativa urbanística de la zona, garantizando así el correcto funcionamiento y la gestión de residuos.
- El producto final que se genera en esta parte del proyecto, el Fosgeno, no se deberá almacenar debido a que está incluido en la Lista 3 de la Convención sobre Armas Químicas. Por ello, se deberá emplear en continuo para la producción del MDI.

Como los anteriores puntos se cumplen, se puede realizar el proyecto.

1.1.2. Alcance del proyecto

El proyecto de creación de SynPhos pretende cumplir una serie de aspectos con el propósito de garantizar el correcto funcionamiento de la planta.

Es de máxima prioridad el cumplimiento de los estándares de seguridad y viabilidad económica. Todo ello se debe realizar considerando el punto de vista medioambiental.

Los aspectos para tener en cuenta para la creación de SynPhos son:

- Diseño, listado y dimensionamiento de las unidades de almacenamiento de materias primas.
- Diseño, listado y especificación de los equipos de producción del producto final.
- Diseño, listado y diagramas del sistema de control, instrumentación y automatismos necesarios en la planta.
- Estudio, diseño y listado de tuberías, válvulas, bombas y compresores con la correspondiente numeración.
- Estudio, diseño y especificación de la gestión del producto final al final del proceso productivo. Estudio del transporte del fosgeno hacia el siguiente proceso productivo de la planta.
- Evaluación económica del proyecto. Realización de estudio de mercado, teniendo en cuenta la competencia de mercado y la rentabilidad.
- Evaluación y justificación del impacto medioambiental. Diseño del tratamiento de residuos y posible contaminación debido tanto a la construcción de la planta como al proceso productivo.
- Diseño y dimensionamiento de todas las zonas auxiliares necesarias para el correcto funcionamiento de la planta. Planos del área productiva, laboratorios y oficinas, así como de zonas auxiliares como aparcamiento, controles de acceso, contra incendios, etc).

1.1.3. Localización de la planta

La planta se ubica en el polígono industrial ‘Satèl·lits’ en el término municipal Tarragona concretamente en el ‘Pol Petroquímic’. Esta se encuentra delimitada por las Calles de Deimos, Europa, Ganímedes y Titán.

Tarragona, el municipio de construcción de la planta, es un importante municipio español, capital de la comarca del Tarragonés y de la provincia de Tarragona, al sur de Cataluña. Esta ciudad limita con el mar Mediterráneo y posee un gran puerto comercial.

El término municipal abarca 57,88 km² y colinda con los de Salou y Reus entre otros. Tiene una población de 138.326 habitantes (a fecha del 2023) y una densidad de población de 2389,9 hab/ km². La ubicación de la planta en el municipio se observa en la *Figura 1.1*.



Figura 1.1. Localización de la planta en el mapa.

1.1.3.1. Parámetros de edificación de la planta. Plano de la parcela

La parcela disponible para la edificación de la planta cuenta con una superficie de 53.720 m². El área de la parcela destinada a la fabricación de fosgeno es de 12.511 m². El plano de la parcela se enseña en la *Figura 1.2*, donde se delimitan las diferentes zonas que contiene la planta.

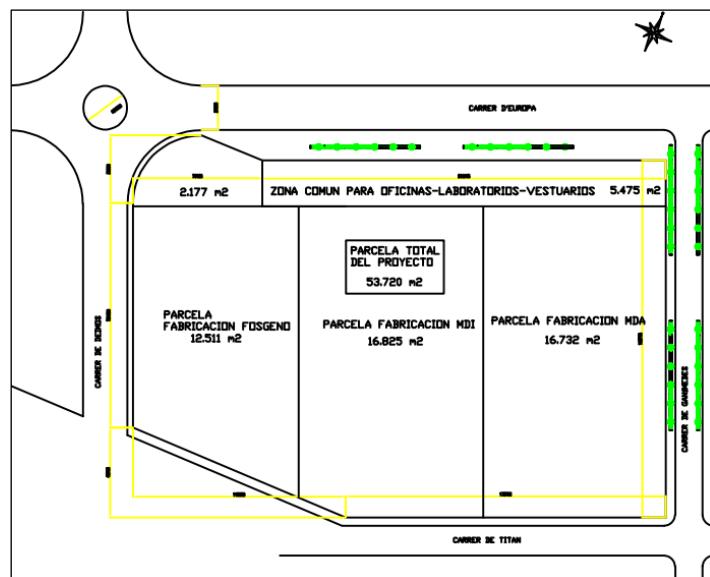


Figura 1.2. Plano de la distribución de la planta.

Con el fin de construir la planta siguiendo la normativa urbanística de la zona, se deben tener en cuenta las siguientes restricciones anexadas en la *Tabla 1.1*. Es imprescindible adherirse a los parámetros requeridos y cumplir la normativa vigente.

Se debe tener en cuenta que la ocupación máxima de la parcela es de un 75% de los 53.720 m² de superficie total. Por lo tanto, la superficie edificable de la planta es de 40.290 m².

Tabla 1.1. Restricciones obligatorias de la parcela.

Edificabilidad	1,5 m ² techo/m ² suelo 75%
Ocupación máxima de parcela	75%
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 5 m

1.1.3.2. Servicios disponibles en planta

Los servicios necesarios para el correcto desempeño de la planta química requieren seguir también la normativa en vigor del polígono industrial en el que se encuentra. La normativa vigente y sus especificaciones se muestra en la *Tabla 1.2*.

Tabla 1.2. Servicios disponibles en planta.

Energía eléctrica	Conexión desde la línea de 20 kV a pie de parcela, es necesario prever una estación transformadora (espacio ya delimitado en el plano)
Gas natural	Conexión a pie de 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 , es necesario diseñar una estación de bombeo i reserva de agua
Agua de red	Acometida a pie de parcela a 4 kg/cm ² con un diámetro de 200 mm
Terreno	Resistencia del terreno de 2 kg/cm ² a 1,5 de profundidad sobre gravas

1.1.4. Características del medio físico

Se realiza un estudio de las características geográficas y climatológicas del territorio. Este estudio permite conocer el terreno en que se construirá y edificará la planta de producción, así como los edificios de oficinas, laboratorios, etc. Conocer el terreno permite construir de forma segura evitando posibles inconvenientes en un futuro debido a condiciones adversas.

1.1.4.1. Climatología

En Tarragona, los veranos son breves, cálidos, húmedos y por lo general despejados; mientras que los inviernos se alargan, son fríos, ventosos y con cielos parcialmente cubiertos. A lo largo del año, el clima se mantiene seco y la temperatura oscila entre los 5 °C y los 29 °C, con pocas ocasiones en las que desciende por debajo de 0 °C o supera los 32 °C. Las lluvias son abundantes en los meses de otoño.

1.1.4.2. Viento

Por lo que respecta al viento, la velocidad promedio en Tarragona tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año. La parte más ventosa del año dura 6 meses, desde octubre a abril, con velocidades promedio del viento de más de 15,0 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Tarragona es diciembre, con vientos a una velocidad promedio de 17,2 kilómetros por hora.

1.1.4.3. Topografía

En un radio de 3 kilómetros alrededor de Tarragona, el terreno presenta variaciones de altitud leves, con un desnivel máximo de 140 metros y una elevación media de 25 metros sobre el nivel del mar. Dentro de este radio predominan las áreas urbanizadas (45%) y cuerpos de agua (34%). Al ampliar el radio a 16 kilómetros, las variaciones de altitud siguen siendo moderadas, alcanzando hasta 598 metros. Dentro de este radio el agua cubre un 45% del territorio y las tierras de cultivo un 34%.

1.1.4.4. Sismología

Desde el 1900, Tarragona ha tenido 63 sismos de magnitud hasta 5.4 dentro de una distancia de hasta 100 km, 9 sismos de magnitud entre 4 y 5 y hasta 53 sismos de magnitud entre 3 y 4. Hay que tener en cuenta que un terremoto entre 5,0 y 5,9 se considera moderado y solamente puede causar daños ligeros a edificios mal construidos. No existe un riesgo elevado y constante de sismo, por lo que no es un factor por el que desestimar la construcción de la planta en Tarragona.

1.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad a la planta

Evaluar las comunicaciones y la accesibilidad que tiene la planta química es crucial para garantizar la seguridad y eficiencia operativa. Una buena accesibilidad facilita el transporte de materias primas y productos finales, mientras que una comunicación efectiva asegura la coordinación en emergencias y optimiza la gestión diaria. Estos factores son clave para minimizar riesgos y mejorar el rendimiento de la planta.

Las principales infraestructuras de transporte de las que dispondrá SynPhos son las siguientes.

1.2.1. Comunicación viaria

El municipio de Tarragona está estratégicamente ubicado en la costa mediterránea, lo que le otorga una red vial bien conectada y eficiente para el transporte terrestre. Esto es particularmente ventajoso para la planta química, que requiere de rutas rápidas y seguras tanto para la recepción de materias primas como para la distribución de productos terminados.

La AP-7 y la A-7 son las principales autopistas, que permiten un transporte eficiente a nivel nacional e internacional. La N-340 ofrece acceso a áreas cercanas e industriales. Además, las conexiones con el Puerto de Tarragona facilitan la entrada y salida de mercancías, cruciales para las operaciones. Esta infraestructura vial de Tarragona proporciona un transporte seguro y rápido de materias primas y productos finales, optimizando la logística de la planta.



Figura 1.3. Comunicación viaria desde Tarragona.

1.2.2. Comunicación ferroviaria

Tarragona dispone de una red ferroviaria clave para una planta química. El Corredor Mediterráneo conecta la ciudad con Europa, facilitando el transporte internacional de productos. La estación de mercancías y la conexión directa con el Puerto de Tarragona optimizan la logística local, permitiendo un tránsito eficiente de materias primas y productos finales.

Existe cierta problemática que impide la correcta conexión con el sistema ferroviario europeo ya que la infraestructura del Corredor Mediterráneo no está completamente modernizada, lo que provoca retrasos, y la falta de conexiones directas con algunas ciudades importantes requiere transbordos, aumentando el tiempo de transporte. Todo ello resulta en una eficiente comunicación ferroviaria de corta distancia, pero ineficiente para el transporte internacional.

1.2.3. Comunicación aérea

Tarragona ofrece una conectividad aérea favorable para la planta química, destacando la proximidad del Aeropuerto de Reus, que permite un acceso rápido para el transporte de productos. Además, el Aeropuerto de Barcelona-El Prat, a unos 100 kilómetros, proporciona opciones internacionales y servicios de carga más completos. La cercanía de ambos aeropuertos se muestra en la *Figura 1.4*.

Aunque el aeropuerto de Reus no tiene una terminal de carga especializada, puede manejar envíos mediante acuerdos logísticos. La buena infraestructura de carreteras entre Tarragona y los aeropuertos asegura un transporte eficiente de materias primas y productos terminados, optimizando las operaciones de la planta.



Figura 1.4. Comunicación aérea.

1.2.4. Comunicación marítima

Tarragona cuenta con un acceso marítimo esencial a través del Puerto de Tarragona, que maneja el tráfico de mercancías, incluidos productos químicos. Su infraestructura permite la llegada de buques grandes, optimizando el transporte marítimo. El puerto tiene terminales especializadas para el manejo seguro de sustancias químicas, garantizando el cumplimiento de normativas de seguridad. Además, ofrece conexiones regulares con puertos del Mediterráneo y Europa, facilitando la importación y exportación de productos. La proximidad del puerto, junto con una logística terrestre adecuada, asegura un flujo constante de mercancías, optimizando las operaciones de la planta química.

1.3. Caracterización de los compuestos implicados en el proceso

Con el fin de posteriormente describir el proceso productivo desempeñado en el proyecto de planta, primero se caracterizan y describen los compuestos implicados.

1.3.1. Materias primas

1.3.1.1. Monóxido de Carbono

También conocido como Óxido de carbono (II), es un compuesto químico con fórmula química CO. Es un gas inodoro e incoloro que se genera en la combustión de la mayoría de los combustibles comunes.

Es altamente utilizado en la industria química en la formación de aldehídos, así como la síntesis del ácido acético.

En SynPhos el CO llega en forma gaseosa vía tuberías subterráneas, proveniente del mismo polígono industrial. Este se utiliza en la síntesis del fosgeno haciéndolo reaccionar con cloro.

Tabla 1.3. Propiedades fisicoquímicas del Monóxido de Carbono.

Fórmula	CO
Peso molecular (g/mol)	28,00
Punto de ebullición (°C)	-191,00
Punto de fusión (°C)	-205,00
Densidad a 20 °C (gas) (g/dm ³)	1,18
Densidad relativa de vapor (aire=1)	0,97
Presión de vapor a 20°C (mbar)	58,80

Los principales riesgos del monóxido de carbono son:

- La inhalación del gas puede provocar dolor de cabeza, confusión, vértigo, náuseas y perdida del conocimiento. La inhalación en presencia de altas concentraciones puede afectar a la sangre, dando lugar a carboxihemoglobinemía y otras alteraciones cardíacas.
- La exposición prolongada o repetida puede afectar al sistema cardiovascular y al sistema nervioso central. Puede producir alteraciones en el desarrollo o la reproducción humana.

1.3.1.2. Cloro

Se denomina Cloro al gas formado por moléculas diatómicas de cloro en estado puro, el dicloro. Este es un gas tóxico, visualmente es amarillo-verdoso y tiene un olor acre.

Este es ampliamente utilizado en la industria química para producir ácido clorhídrico (HCl) o cloruro de polivinilo (PVC).

En SynPhos el Cl₂ llega en forma líquida vía tuberías subterráneas, proveniente del mismo polígono industrial. Este se utiliza en la síntesis del fosgeno haciéndolo reaccionar con monóxido de carbono.

Tabla 1.4. Propiedades fisicoquímicas del Cloro.

Fórmula	Cl ₂
Peso molecular (g/mol)	79,90
Punto de ebullición (°C)	-34,00
Punto de fusión (°C)	-101,00
Densidad a 20 °C (gas) (g/dm ³)	2,98
Densidad relativa de vapor (aire=1)	2,50
Presión de vapor a 20°C (kPa)	673,00

Los principales riesgos del cloro son:

- La inhalación directa provoca irritación en el sistema respiratorio, lo que produce tos, dolor de garganta, jadeo, sibilancia y dificultad respiratoria, aunque todos los síntomas no se presentan de forma inmediata.
- El contacto con la piel en estado líquido provoca enrojecimiento, sensación de quemazón, dolor y quemaduras cutáneas. Cuando entra en contacto con los ojos provoca lagrimeo, enrojecimiento, dolor y quemaduras.

1.3.2. Producto final de interés

1.3.2.1 Fosgeno

El oxicloruro de carbono, también denominado fosgeno, es un compuesto químico con fórmula química COCl₂. Es una sustancia química artificial en forma de gas incoloro y no inflamable que presenta un olor similar al que desprende el césped recién cortado.

Es un gas a temperatura ambiente, pero puede ser almacenado en forma líquida sometiéndolo a bajas presiones y refrigeración.

Se usa como producto intermedio en la fabricación de otros químicos como policarbonatos, cloruros ácidos, plaguicidas y algunos medicamentos.

El fosgeno producido en SynPhos utilizado para la formación de isocianatos, más concretamente el Diisocianato de difenilmetano o MDI (de Metilen difenil 4,4'-diisocianato).

Tabla 1.5. Propiedades fisicoquímicas del Fosgeno.

Fórmula	COCl_2
Peso molecular (g/mol)	98,91
Punto de ebullición (°C)	8,00
Punto de fusión (°C)	-128,00
Densidad a 25 °C (gas) (g/dm ³)	4,25
Densidad a 0°C (líquido) (g/cm ³)	1,43

Los principales riesgos del fosgeno son:

- La inhalación de vapor puede provocar que los pulmones se dilaten. Esto puede dar lugar a alteraciones funcionales y menor resistencia frente a infecciones. La inhalación de altos niveles puede producir la muerte.
- El contacto con la piel o los ojos ya sea en forma gaseosa o líquida, puede ocasionar quemaduras químicas. La ingestión de fosgeno líquido podría provocar lesiones en la boca, garganta, esófago y estómago.

1.3.3. Subproductos

1.3.3.1. Tetracloruro de carbono

También denominado Cloruro de Carbono (IV). Es un líquido incoloro de olor dulce, pese a que puede ser encontrado frecuentemente en el aire en forma de gas incoloro. En el pasado fue utilizado en la producción de líquido refrigerante y como propelador de aerosoles, así como plaguicida y agente limpiador. Debido a los efectos perjudiciales de este, fue prohibido para dichos usos y solamente es utilizado en ciertas aplicaciones industriales.

Es un subproducto de la reacción de síntesis del fosgeno a partir de monóxido de carbono y cloro, en una proporción muy pequeña.

Tabla 1.6. Propiedades fisicoquímicas del Tetracloruro de carbono.

Fórmula	CCl_4
Peso molecular (g/mol)	153,80
Punto de ebullición (°C)	76,70
Punto de fusión (°C)	-23,00
Densidad relativa de vapor (aire=1)	5,30

Los principales riesgos del tetracloruro de carbono son:

- La inhalación de vapor puede provocar dolor de cabeza, así como náuseas, vómitos y vértigos.
- El contacto con la piel puede ocasionar dermatitis. La ingestión de puede afectar al hígado y a los riñones.

1.3.3.2. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un gas inoloro, incoloro y ligeramente ácido. Existe en la naturaleza en forma de gas en condiciones de presión y temperatura estándar, aunque puede solidificar a temperaturas extremadamente bajas. Es un gas de efecto invernadero y su alta concentración en la atmósfera es un causante del calentamiento global.

Es comúnmente utilizado en la industria como materia prima química, así como agente extintor del fuego, como gas inerte para la soldadura, entre otras muchas.

Es un subproducto de la reacción de síntesis del fosgeno a partir de monóxido de carbono y cloro, en una proporción muy pequeña.

Tabla 1.7. Propiedades fisicoquímicas del Tetracloruro de carbono.

Fórmula	CO ₂
Peso molecular (g/mol)	44,00
Punto de sublimación (°C)	-78,50
Solubilidad en agua (g/L)	2,00
Densidad relativa de vapor (aire=1)	1,50
Presión de vapor a 20°C (kPa)	5720,00

Los principales riesgos del dióxido de carbono son:

La inhalación de vapor puede elevar la presión sanguínea y acelerar el ritmo cardiaco, provocando palpitaciones anómalas. También puede producir asfixia y provocar dolor de cabeza y vértigos.

1.3.4. Otros productos

1.3.4.1. Diisocianato de difenilmetano

También denominado Metilen difenil 4,4'-diisocianato, nombre del que se abrevia como MDI. Es un diisocianato aromático que existe hasta en tres formas isoméricas (2,2'-MDI, 2,4'-MDI y 4,4'-MDI).

Es un compuesto químico que polimeriza dando un aspecto de copos o cristales blancos o ligeramente amarillentos. Es ampliamente utilizado en la fabricación de espumas flexibles y rígidas, elastómeros, adhesivos, recubrimientos y otros productos de poliuretano.

Es un producto final que se obtiene en otra planta dentro de la parcela donde se encuentra SynPhos, para el que se necesita el fosgeno producido a partir del actual proyecto.

1.3.4.2. Amoníaco

El amoníaco es un compuesto químico de nitrógeno con la fórmula química NH_3 . Es un gas incoloro con un característico olor repulsivo. Tiene múltiples usos en la industria química, pero en SynPhos es utilizado como refrigerante en las torres de refrigeración debido a sus características.

Tabla 1.8. Propiedades fisicoquímicas del amoníaco.

Fórmula	NH_3
Peso molecular (g/mol)	17,03
Punto de ebullición (°C)	-33,34
Punto de fusión (°C)	-77,73
Densidad (kg/m ³)	0,73
Solubilidad en agua (0 °C)	89,9 g/ 100 mL

Los principales riesgos del amoníaco son:

- La ingestión puede provocar náuseas y vómitos, así como daño a labios, boca y esófago. Los vapores de este son extremadamente corrosivos e irritantes.
- El contacto con la piel puede producir quemaduras severas y necrosis y el contacto con los ojos puede producir daños permanentes incluso en cantidades muy pequeñas

1.3.4.3. Hidróxido de sodio

El hidróxido de sodio, también conocido como sosa cáustica, es un compuesto químico con la fórmula NaOH . Es un sólido blanco cristalino sin olor altamente alcalino.

En la industria es comúnmente utilizado en los procesos de fabricación de papel, tejidos y detergentes.

En SynPhos es utilizado en forma de solución en el tratamiento de los gases producidos en la reacción de síntesis de fosgeno.

Tabla 1.9. Propiedades fisicoquímicas del hidróxido de sodio.

Fórmula	NaOH
Peso molecular (g/mol)	39,99
Punto de ebullición (°C)	1390,00
Punto de fusión (°C)	323,00
Densidad (kg/m ³)	2100,00

Los principales riesgos del hidróxido de sodio son:

- La ingestión puede causar daños graves y permanentes al sistema gastrointestinal. La inhalación puede provocar irritación con pequeñas exposiciones y puede ser dañino o mortal en altas dosis.
- El contacto con la piel puede provocar desde irritaciones leves hasta úlceras graves y con los ojos puede causar quemaduras y daños a la córnea.

1.4. Proceso de producción

1.4.1. Métodos de obtención

Existen diferentes métodos para la obtención industrial del fosgeno, dependiendo de los materiales disponibles y las necesidades del proceso. Los métodos más utilizados industrialmente para la obtención de este compuesto son:

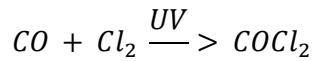
Reacción de cloro y monóxido de carbono en fase gaseosa en contacto con catalizador. Este catalizador puede ser carbón activo (método utilizado en la planta SynPhos, explicado posteriormente) o luz ultravioleta.

Reacción de cloro y metano (gas natural) en fase gaseosa. Esta reacción produce fosgeno de manera indirecta y se utiliza cuando los recursos de gas natural son abundantes.

1.4.1.1. Reacción de monóxido de carbono y cloro con luz UV

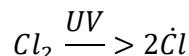
La reacción entre monóxido de carbono (CO) y cloro (Cl₂) es un método ampliamente usado para la producción de fosgeno. La luz UV actúa como un catalizador al romper el enlace del cloro molecular, generando radicales libres de cloro que inician la reacción.

La ecuación global de este proceso es la siguiente:

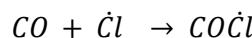


Esta reacción presenta el siguiente mecanismo de reacción:

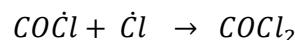
- En primer lugar, se generan los radicales del cloro. Bajo el efecto de la luz UV, el cloro molecular se disocia:



- En segundo lugar, se adiciona el radical de cloro al monóxido de carbono:



- Por último, el radical COCl se combina con otro radical cloro, formando el fosgeno



Este método de obtención es eficiente, en términos de conversión y selectividad, pero presenta desventajas frente al método de obtención escogido para la planta de SynPhos.

Se requieren equipos de especializados, sistemas de reacción resistentes a radiación UV y la eficiencia depende de una fuente de luz UV de alta intensidad y calidad, lo que puede incrementar costos.

Además, si no se controlan las condiciones meticulosamente, pueden formarse cloruros de carbono no deseados.

1.4.1.2. Reacción de gas natural (metano) y cloro

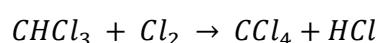
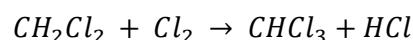
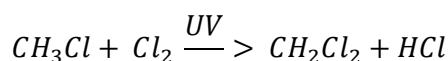
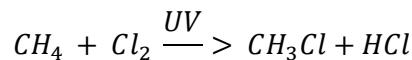
La reacción de cloro (Cl_2) con gas natural (CH_4) produce fosgeno indirectamente, mediante una serie de pasos que incluyen la cloración del metano y la oxidación de los productos clorados.

La ecuación global de este proceso es la siguiente:

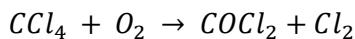


Esta reacción presenta el siguiente mecanismo de reacción:

- En primer lugar, se lleva a cabo la cloración del metano, mediante luz UV o la aplicación de altas temperaturas:



- Por último, se lleva a cabo una oxidación controlada, en la que los productos clorados, se oxidan en condiciones específicas para formar el fosgeno:



Este método de obtención es menos eficiente y solo se emplea en situaciones específicas en las que el gas natural es ampliamente disponible y económico. Tampoco es el método seleccionado, debido a la complejidad de las múltiples etapas. Además, se producen subproductos peligrosos como el HCl y otros cloruros de carbono que implican riesgos ambientales.

1.4.2. Descripción general del proceso

El método de obtención seleccionado para la planta de SynPhos es el que se realiza mediante la síntesis de fosgeno a través de la reacción de monóxido de carbono y cloro en fase gaseosa:



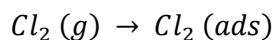
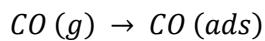
Dado que la reacción es altamente exotérmica, requiere un control estricto de la temperatura para evitar descomposición térmica del producto y minimizar el riesgo de accidentes. La reacción tiene lugar en fase gaseosa y se beneficia del uso de catalizadores para incrementar la velocidad de reacción en condiciones industriales. Los métodos comunes de síntesis son mediante catálisis heterogénea o por fotocloración. En SynPhos, el proceso productivo desempeñado trabajará mediante la catálisis heterogénea, utilizando catalizadores físicos.

1.4.2.1. Reacción mediante catálisis heterogénea

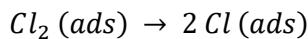
La síntesis de fosgeno COCl₂ mediante catálisis heterogénea es el método industrial más utilizado y se basa en la reacción entre monóxido de carbono CO y cloro Cl₂ en presencia de un catalizador sólido, generalmente carbón activado. La catálisis heterogénea permite una interacción eficiente entre el CO y el Cl₂ al facilitar la adsorción de ambos reactivos en la superficie del catalizador, lo que reduce la energía de activación de la reacción. Este proceso se lleva a cabo a temperaturas de entre 50 y 200 °C para evitar la descomposición térmica del fosgeno, mientras que la presión suele mantenerse en condiciones atmosféricas o ligeramente superiores para controlar la densidad de los reactivos y minimizar la peligrosidad del proceso.

La reacción puede describirse en tres etapas principales:

Primero, tanto el CO como el Cl₂ se adsorben en la superficie del carbón activado, un material con una alta área superficial y estructura porosa que permite concentrar las moléculas de los reactivos en estrecha proximidad.

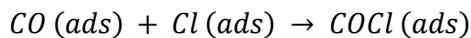


En segundo lugar, la estructura del catalizador facilita la disociación de las moléculas de Cl_2 en átomos radicales de cloro en los centros activos.



Estos átomos de cloro reaccionan con las moléculas de CO adsorbidas, generando fosgeno ($COCl_2$). La reacción transcurre en dos pasos secuenciales en la superficie del catalizador:

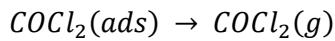
- Formación de un intermediario clorado:



- Adición de un segundo átomo de cloro para formar fosgeno:



Finalmente, el fosgeno se desorbe de la superficie del carbón activado y se recoge en estado gaseoso, permitiendo que el catalizador continúe facilitando la reacción de los reactivos frescos.



La elección de carbón activado como catalizador se debe a su disponibilidad y bajo costo, además de su resistencia térmica y química. No obstante, la efectividad del carbón depende de su estructura porosa y de su pureza, ya que las impurezas o partículas finas pueden interferir en la reacción y reducir la pureza del fosgeno. Durante el proceso, el carbón activado puede experimentar desgaste por la acumulación de contaminantes en su superficie, lo que puede disminuir su capacidad de adsorción y por la eficiencia del proceso.

La regeneración del catalizador mediante calentamiento en atmósferas inertes es un método común para mantener su actividad a largo plazo, aunque su reemplazo periódico es a veces necesario. La catálisis heterogénea presenta importantes ventajas en términos de eficiencia y control del proceso, ya que permite una alta conversión de los reactivos en fosgeno a temperaturas moderadas y facilita la recuperación del producto en un flujo continuo, controlando tanto la velocidad de reacción como la desorción del fosgeno. No obstante, las partículas de carbón activado pueden contaminar el fosgeno obtenido, por lo que es común realizar una etapa de purificación adicional.

Además, el proceso conlleva riesgos inherentes debido a la alta toxicidad del fosgeno, lo que implica el uso de sistemas cerrados con sensores de fugas, ventilación y procedimientos de purga para asegurar que la reacción ocurra de forma controlada y segura.

1.4.2.2. Descripción detallada del proceso

A continuación, se describe detalladamente el proceso seguido por SynPhos para la producción de fosgeno. Este proceso se ha dividido en tres grandes etapas:

1. Pretratamiento: El cloro líquido es suministrado a través de tuberías desde la empresa proveedora a una presión de 5 bares y una temperatura de 16,5°C en estado líquido. Al llegar a las instalaciones, se dirige a un vaporizador donde, durante la puesta en marcha, se emplea vapor fresco de caldera para alcanzar una temperatura aproximada de 70°C. En régimen estacionario, este proceso se realiza utilizando el vapor generado por la refrigeración del reactor. Una vez vaporizado, el cloro experimenta un cambio de presión mediante una válvula reductora, cuya operación es controlada por un transmisor de presión a la entrada del reactor para garantizar estabilidad en el proceso. Posteriormente, debido a la reducción de presión, el gas se enfriá naturalmente antes de ingresar al mezclador en línea, donde se combina con un flujo de monóxido de carbono.

El monóxido de carbono llega a la planta a través de tuberías a una presión de 6 bares y una temperatura de 45°C. Para su precalentamiento, se emplea el mismo vapor de caldera proveniente del vaporizador de cloro, permitiendo alcanzar una temperatura de 80°C. Posteriormente, se le aplica un cambio de presión mediante una válvula reductora conectada a un lazo de control que regula la presión de entrada al reactor. Ambos gases ingresan al mezclador en línea a la misma presión. A la salida de este, un intercambiador de calor, utilizando vapor fresco de caldera, eleva la temperatura de la mezcla gaseosa hasta los 150°C antes de su entrada al reactor.

2. Formación y Separación del Fosgeno: La reacción de formación de fosgeno se lleva a cabo en un reactor catalítico multitubular, enfriado mediante agua proveniente de una torre de refrigeración a 25°C. En el circuito de refrigeración, el agua se evapora al final del proceso, y debido a la configuración en contracorriente, se logra extraer la mayor cantidad de calor posible en la zona inicial de reacción. Esto es fundamental, ya que la reacción entre el monóxido de carbono y el cloro, en presencia de carbón activo como catalizador, es altamente exotérmica en sus etapas iniciales.

La reacción alcanza un rendimiento del 97-98%, obteniéndose en el corriente de salida concentraciones elevadas de fosgeno y monóxido de carbono, con menores proporciones de cloro e impurezas derivadas de reacciones secundarias. Esta corriente gaseosa, que sale a 150°C y 3,4 bares, se somete a una condensación parcial mediante refrigerante R-717 (amoníaco anhídrico). Antes de este proceso, el corriente gaseoso pasa a través de un expansor que reduce la presión a aproximadamente 1 bar, disminuyendo la temperatura a 84°C. La reducción de presión evita que los gases salientes del condensador si se les aplica una reducción de presión hasta una presión optima de trabajo en el scrubber, alcancen temperaturas extremadamente bajas (-54°C), lo que dificultaría su tratamiento posterior. Como resultado de la condensación, la fase líquida obtenida está compuesta en un 98% por fosgeno, junto con pequeñas cantidades de impurezas, cloro y monóxido de carbono en equilibrio con la fase gaseosa. La fase gaseosa, en cambio, contiene mayoritariamente monóxido de carbono con una concentración moderada de fosgeno y bajas proporciones de cloro e impurezas.

3. Tratamiento de Gases y Recirculación del Monóxido de Carbono: La corriente gaseosa proveniente del condensador es tratada con el objetivo de eliminar su toxicidad y recuperar el monóxido de carbono

no reaccionado para su recirculación en el proceso. Para ello, se emplea un scrubber alcalino con una solución de NaOH al 25% como absorbente. Este sistema permite la captura de fosgeno, cloro e impurezas, generando un residuo líquido compuesto por agua y sales sódicas (NaCl, Na₂CO₃ y NaHCO₃).

Dado que el scrubber opera a una presión inferior a la atmosférica para prevenir fugas, se ha implementado un compresor que no solo extrae el gas del scrubber, sino que también ajusta la presión del monóxido de carbono recirculado para su reintroducción en el mezclador principal. Antes de ingresar a este último, el corriente de monóxido de carbono recirculado pasa por un mezclador adicional donde se combina con monóxido de carbono fresco para alcanzar la cantidad necesaria.

La recirculación del monóxido de carbono no solo permite el aprovechamiento de la materia prima, sino también la optimización térmica del proceso. Durante la compresión, el gas alcanza una temperatura de 240°C, lo que contribuye a elevar la temperatura de la corriente combinada en el mezclador principal hasta aproximadamente 120°C. Esto se traduce en una reducción en el consumo de vapor requerido para alcanzar los 150°C necesarios antes del reactor.

Adicionalmente, dado el consumo continuo de la solución de NaOH, se ha optado por su fabricación en la propia planta. Para ello, se han instalado dos mezcladores operando en régimen discontinuo, de manera que, mientras uno realiza la mezcla, el otro se vacía, garantizando un suministro ininterrumpido de la solución de NaOH al depósito del scrubber.

1.4.3. Diagrama de bloques

En primer lugar, se facilitarán las abreviaturas de los equipos que forman parte del diagrama de bloques del proceso productivo. La nomenclatura se muestra en la *Tabla 1.8* y se profundizará más en el *Capítulo 2: Equipos de planta*.

Tabla 1.10. Nomenclatura de los equipos utilizados en la planta SynPhos.

Equipo	Nomenclatura
Vaporizador	V
Mezclador	M
Reactor multitubular	R
Expansor	E
Condensador	C
Scrubber	SC
Compresor	CG
Tanque almacenamiento (NaOH)	TA
Tanque mezcla	TM
Intercambiador de calor	HE
Descalcificador	D
Torre de refrigeración	TR
Caldera	K
Sistema de refrigeración R-717	SR

Conociendo los equipos implicados, el diagrama de bloques del proceso productivo será el siguiente:

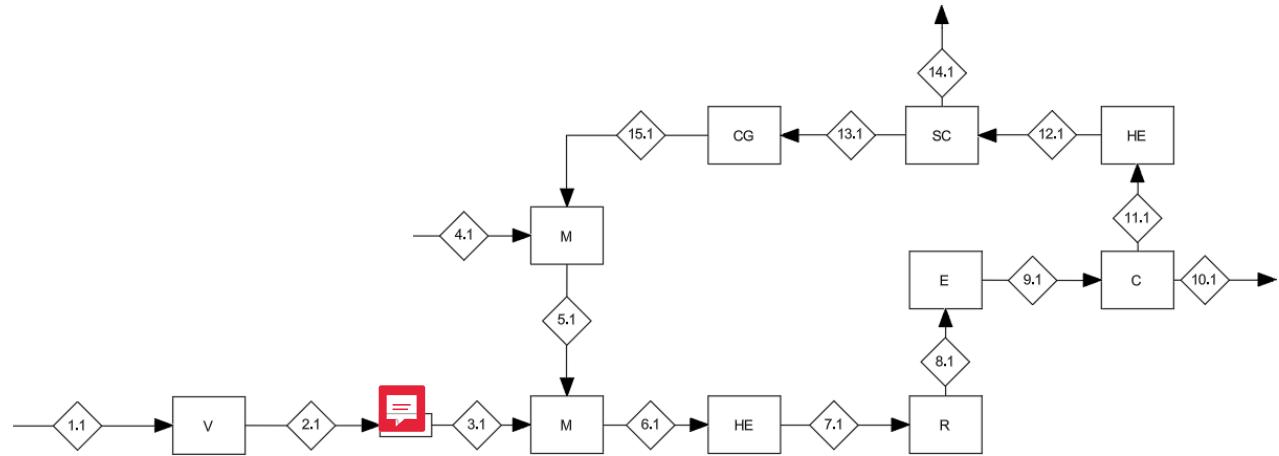


Figura 1.5: Diagrama de bloques del proceso

1.4.4. Balance de materia

Tabla 1.11. Caracterización de los corrientes y balance de materia.

Corriente	Caudal (Kg/h)	Caudal (Kmol/h)	Caudal (m ³ /h)	Temperatura (°C)	Presión (bar)	Estado	Densidad (kg/m ³)	Composición(kg/h)							
								Cl ₂	CO	COCl ₂	Impurezas	R-717	Agua	Sales sódicas	NaOH 25%
1.1	7757	109,4	5,53	16,5	6,0	Líquido	1402	7757,0	-	-	-	-	-	-	-
2.1	7757	109,4	512,60	70,0	5,7	Gas	15,13	7757,0	-	-	-	-	-	-	-
3.1	7757	109,4	712,00	46,0	3,7	Gas	10,9	7757,0	-	-	-	-	-	-	-
4.1	1499	53,5	283,00	45,0	5,0	Gas	5,29	-	1499,0	-	-	-	-	-	-
5.1	6127	218,7	2286,00	200,0	3,8	Gas	2,7	-	6127,0	-	-	-	-	-	-
6.1	13880	328,1	2983,00	140,5	3,8	Gas	4,7	7757,0	6127,0	-	-	-	-	-	-
7.1	13880	328,1	3316,00	150,0	3,5	Gas	4,2	7757,0	6127,0	-	-	-	-	-	-
8.1	20550	328,1	3339,00	150,0	3,4	Gas	6,1	255,3	4628,5	15668,3	20,0	-	-	-	-
9.1	20550	328,1	9489,00	86,2	1,0	Gas	2,1	255,3	4628,5	15668,3	20,0	-	-	-	-
10.1	15270	155,2	10,28	-34,5	3,8	Líquido	1485,0	190,5	0,7	15081,3	4,0	-	-	-	-
11.1	5280	172,1	893,4	-34,5	3,8	Gas	5,9	64,8	4627,8	587,0	16,0	-	-	-	-
12.1	5280	172,1	1255,0	40,0	3,6	Gas	4,1	64,8	4627,8	587,0	16,0	-	-	-	-
13.1	4627	165,2	4779,0	40,0	0,9	Gas	1,0	-	4627,8	-	-	-	-	-	-
14.1	2918	105,2	2,12	40,0	2,0	Líquido	1376,0	-	-	-	-	-	1566	1352	-
15.1	4627	165,2	1887,0	245,6	3,8	Gas	2,5	-	4627,8	-	-	-	-	-	-

1.5. Necesidades de servicio de planta

Para producir el fosgeno necesario de manera correcta, son indispensables unos servicios de planta, que mantienen condiciones de operación optimas.

Estos servicios representan una alta parte de los costes de operación, porque se utilizan ampliamente, desempeñan un papel importante en la prevención de accidentes, el cumplimiento de estándares de seguridad y la prevención de la contaminación ambiental.

Los principales servicios auxiliares de planta son el agua de red, el agua refrigerante y el agua contra incendios, así como el vapor de agua, el aceite térmico, la corriente eléctrica y el aire.

1.5.1. Agua

1.5.1.1. Agua de red

La producción implica la necesidad de agua de red, la cual es proporcionada por la empresa EMATSA (Empresa Municipal Mixta d'Aigües de Tarragona S.A.). La cantidad necesaria depende de factores como la capacidad de producción, las tecnologías utilizadas y los procesos auxiliares.

Esta agua es utilizada principalmente en oficinas, laboratorios, vestuarios y comedor, así como en operaciones de limpieza en planta.

El agua de Tarragona se considera agua de elevada dureza, con unos niveles de $440 \text{ mg de CaCO}_3/\text{L}$. Esto implica que contiene altos niveles de minerales como el calcio o magnesio, que contribuyen a formar incrustaciones en las tuberías, intercambiadores de calor, calderas, torres de refrigeración y otros equipos.

Se debe asegurar el correcto mantenimiento de los equipos, los cuales pueden perder eficiencia por el estrechamiento provocado por las incrustaciones, que genera un menor flujo de agua, disminuyendo la efectividad de transferencia de calor o directamente acortando la vida útil. Para ello, se lleva a cabo un proceso de descalcificación del agua de red dentro de la propia planta. La estación de descalcificación se encuentra en el área de servicios auxiliares (A-500) de la planta.

1.5.1.2. Agua contra incendios

Para el correcto funcionamiento de los sistemas antiincendios de la planta y la consecuente seguridad y protección de las instalaciones y el personal, se debe considerar el agua contra incendios.

Estos funcionarán mediante dos sistemas, siendo el principal el suministro continuo mediante agua de red. En caso de interrupción del suministro de agua de red, se empleará agua almacenada en una balsa contra incendios, que contendrá la cantidad necesaria para abastecer los equipos antiincendios durante un tiempo determinado, especificado mediante normativas. En el caso de SynPhos, la balsa tiene una capacidad de 2000 m^3 de agua.

El tanque de almacenamiento de agua contra incendios se encuentra en el área A-900.

1.5.2. Electricidad

La energía eléctrica es esencial en una planta química, para garantizar la iluminación adecuada, así como para el funcionamiento de gran parte de los equipos, como bombas, compresores, reactores, calderas, así como para los sistemas de control y automatización, y los equipos electrónicos de oficinas y laboratorios.

En la planta de producción SynPhos, las necesidades eléctricas dependen de varios factores, como la capacidad de producción, la tecnología empleada y los equipos auxiliares. Toda la planta requiere electricidad para operar correctamente. Los principales equipos que hacen gran consumo de electricidad son compresores, bombas, reactor, las torres de enfriamiento, la planta de tratamiento de aguas, la instrumentación, control e iluminación, entre otros.

La planta cuenta con una conexión de línea de 20 kV a pie de parcela y una estación transformadora que permite reducir las altas tensiones de la línea principal a niveles más bajos y adecuados para los diversos equipos, que operan a una tensión de 230V. La compañía eléctrica seleccionada ha sido Endesa, optando por la tarifa 6.1TD, la cual proporciona hasta 30 kV sin límite de potencia.

Dado que una planta química depende en gran medida de la electricidad para mantener sus operaciones, es crucial contar con un grupo electrógeno en caso de cortes de suministro, a fin de garantizar la continuidad y evitar paradas no programadas. Este grupo utiliza un motor de combustión interna alimentado por gas natural para generar la electricidad necesaria en situaciones de emergencia.

1.5.3 Aire

El aire comprimido es el sometido a una presión mayor que la atmosférica, lo que reduce su volumen con un compresor. Este aire es fundamental para que funcionen correctamente los instrumentos de control en procesos industriales.

Al circular por la red, el aire comprimido puede arrastrar impurezas que pueden dañar los equipos y acortar su vida útil. Por ello, es crucial purificar el aire utilizando secadores y filtros, lo que ayudará a eliminar la humedad y las partículas no deseadas. Además, se instalará un tanque acumulador para asegurar que el aire se distribuya de manera eficiente al sistema de control durante los picos de demanda, mejorando así la eficiencia de la planta y previniendo caídas de presión.

1.5.4 Gas natural

Este recurso es esencial en la planta y se suministra directamente a pie de parcela, con una presión media de 1,5 kg/cm². Es utilizado principalmente como combustible en las calderas y en el grupo electrógeno, que entra en funcionamiento en caso de emergencia.

Las necesidades de gas natural en la planta varían según la capacidad de producción, los equipos utilizados y los procesos auxiliares. Este gas es fundamental en la zona de servicios, ya que alimenta las calderas de vapor que proporcionan el calor necesario para que operen equipos clave.

Endesa ha sido seleccionada como la compañía suministradora de gas, lo que permite unificar el suministro de electricidad y gas con la misma empresa. Se ha elegido una tarifa RLTB.6, diseñada para altos consumos, que ofrece una presión de entrada de hasta 4 bares. Esta tarifa es fija, lo que garantiza que el precio no varíe en función del mercado, proporcionando estabilidad a la planta en términos de costos energéticos.

1.6. Constitución de la planta

La construcción de la planta se realiza siguiendo una distribución específica, estudiada para aprovechar el espacio. Se distribuye de forma que se consigue que la producción sea efectiva, dividiendo la planta en las diferentes áreas especializadas. Con una correcta distribución de la planta se mantienen unos correctos niveles de seguridad y eficiencia, siguiendo los estándares ambientales y de calidad.

La planta se divide en 14 áreas diferenciadas, las cuales se clasifican según:

- i) Zona de producción: Formada por las áreas en las que se realiza el proceso productivo de formación de fosgeno. Estas son: A-100, A-200, A-300.
- ii) Zona auxiliar: Formada por las áreas en las que no se lleva a cabo el proceso productivo, sino zonas de soporte para el correcto funcionamiento de la planta. Estas son: A-400, A-500, A-600, A-700, A-800, A-900, A-1000.
- iii) Zonas de personal: Formada por las áreas destinadas a personal. Estas son: A-1100, A-1200, A-1300, A-1400.

En la *Tabla 1.12*, se observan las diferentes áreas de la planta de SynPhos:

Tabla 1.12. Áreas de la planta.

Código área	Descripción
A-100	Pretratamiento
A-200	Reacción, Condensador y Salida de producto
A-300	Gestión de gases
A-400	Sala control
A-500	Servicios y mantenimiento
A-600	Zona de carga y descarga
A-700	Almacén
A-800	Laboratorio de control
A-900	Área contra incendios

A-1000	Gestión de residuos
A-1100	Aparcamiento
A-1200	Oficinas
A-1300	Vestuarios
A-1400	Comedor, sala descanso y cocina

La operación en planta realizada en cada una de las áreas se explicará posteriormente.

1.7. Plantilla de trabajadores

La dirección de SynPhos, después de un estudio detallado del proceso productivo y sus necesidades en lo que respecta los empleados, considera que la plantilla de trabajadores más eficiente para llevar a cabo el proceso productivo es la siguiente:

Tabla 1.13. Distribución de la plantilla de trabajadores.

Departamento	Función	Personal
Dirección	Director de planta	1
	Jefe de planta	1
Recursos humanos	Encargado de RRHH	1
	Personal de RRHH	3
Administración	Encargado de Administración	1
	Personal Administrativo	3
Ingeniería	Jefe de producción	1
	Jefe de sección	4
Producción	Encargado de sección	4
	Operario de producción	16
Investigación y desarrollo	Encargado de I+D	1
	Técnico de I+D	3
Laboratorio de calidad	Encargado de laboratorio	2
	Operario de laboratorio	8
Mantenimiento	Jefe de taller	1
	Encargado de Mantenimiento	1
	Operario de taller	4
Seguridad y Medio ambiente	Encargado de Seguridad	1
	Auxiliar de seguridad	3
Finanzas	Jefe de finanzas	1
	Comercial y personal de finanzas	3
Limpieza	Empleado de limpieza	3

1.8 Plan temporal

La correcta realización del proyecto de la planta química de SynPhos viene dada por la planificación de las tareas, garantizando que estas se cumplen de la forma más eficiente y dentro de los tiempos establecidos. Esta planificación implica la identificación de todas las tareas necesarias, la estimación del tiempo de realización de cada una de ellas y la asignación de recursos para que se lleven a cabo. En la *Tabla 1.14* se muestra la planificación de las tareas, con su duración y precedencia.

Tabla 1.14. Planificación temporal de la formación de la planta SynPhos.

Nº de tarea	Tarea	Duración (días)	Precedencia
1	Ingeniería básica	60	0:1
2	Obtención de licencia de obra	140	0:2
3	Ingeniería detallada	100	1:3
4	Demanda de equipos	120	3:4
5	Preparación del terreno	30	2:5
6	Excavación y cimentación	50	5:6
7	Viales y aceras	50	6:7
8	Aparcamiento	10	6:8
9	Instalación de suministros	25	6:9
10	Edificación Zonas Auxiliares	100	9:10
11	Edificación Laboratorios y Taller	80	9:11
12	Instalación de equipos	100	4,9:12
13	Instalación de soportes, puertas y escaleras	30	12:13
14	Calibrado de equipos	25	12:14
15	Instalación de tuberías de proceso	75	12:15
16	Conexión de tuberías de proceso	25	15:16
17	Instalación de tuberías de servicio	75	12,14,16:17
18	Conexión de tuberías de servicio	25	17:18
19	Instalación Equipo Anti-Incendios	20	9:19
20	Construcción Almacén	40	9:20
21	Construcción Área de Carga y descarga	40	9:20
22	Instalación de red eléctrica	50	10,11,12:22
23	Conexión de red eléctrica	25	22:23
24	Instalación de instrumentación	50	14,16,18:24
25	Conexión de instrumentación	25	24:25
26	Aislamiento de equipos	20	25:26
27	Recubrimiento de tuberías	20	25:27
28	Prueba de equipos	50	25:28
29	Pintura de la planta	30	28:29
30	Limpieza de la planta	10	29:30

1.9 Bibliografía

1. Idescat, "Tarragona, *El municipio en cifras*":
<https://www.idescat.cat/emex/?id=431482&lang=es>
2. Aerobiología, "Climatología Tarragona":
<https://aerobiologia.cat/pia/general/pdf/rea4/19tarragona4.pdf>
3. Windy, "Climatología y viento en Tarragona":
<https://windy.app/es/forecast2/spot/367652/Tarragona/statistics>
4. Bemaqua, "Dureza del Agua en Tarragona":
<https://bemaqua.com/2021/09/05/el-agua-del-grifo-de-tarragona/>
5. Autoritat Portuària de Tarragona, *Puerto de Tarragona: Memoria anual 2022. Puerto de Tarragona, 2023*:
<https://www.porttarragona.cat>.
6. European Union, *The Mediterranean Corridor: Enhancing trade and connectivity in Europe. European Commission, 2022*:
<https://ec.europa.eu/transport>.
7. SIAFA, "Monóxido de Carbono":
<https://www.siafa.com.ar/notisiafa/13/monoxidodecarbono.pdf>
8. INSHT, "Ficha Técnica del Monóxido de Carbono":
<https://web.archive.org/web/20091223095414/http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/201a300/nspn0298.pdf>
9. Infogases, "Cloro: Propiedades y Usos":
<https://infogases.com/gases-industriales/cloro>
10. ILO Chemicals Safety, "Cloro: Tarjeta de Seguridad Química":
https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0126&p_version=2
11. Química.es, "Amoníaco":
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Amon%C3%ADaco.html>
12. Química.es, "Hidróxido de Sodio":
https://www.quimica.es/enciclopedia/Hidr%C3%B3xido_de_sodio.html
13. Google Patents, "Reactor y procedimiento para la fabricación de fosgeno". Gerhard Olbert, Wolfgang Gerlinger, Byoung Yeon Kim:
<https://patents.google.com/patent/ES2770646T3/es> [Consultado: 28 de noviembre de 2024].
14. Google Patents, "Procedimiento para la obtención de fosgeno pobre en tetracloruro de carbono". Jurgen Heuser, Hermann Kauth, Christian Kords:
<https://patents.google.com/patent/ES2209519T3/es> [Consultado: 28 de noviembre de 2024].

15. Google Patents, "*Procedimiento para la obtención de fosgeno*". *Gerhard Olbert, Torsten Mattke, Luc Vanderwaeren, Filip Nevejans, Jan Hammenecker*:
<https://patents.google.com/patent/ES2253661T3/es> [Consultado: 28 de noviembre de 2024].
16. OEPM, "*Un proceso para la producción segura de fosgeno*". *Niklas Bengt Jakobsson, Berit Hiinnemann, Claus Friis Pedersen, Niels Christian Schjodt*:
https://consultas2.oepm.es/pdf/ES/0000/000/02/80/46/ES-2804677_T3.pdf [Consultado: 28 de noviembre de 2024].