

IsoNova

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO FIN DE GRADO
Ingeniería química



Luis Antonio Gallardo Blanco
Bélana Kirschstein
Daniel Matamoros Nicolás
Marta Riera Flores
Jie Zhang

TUTOR

Oscar Guerrero Sodric



ISONOVA



escola
d'enginyeria

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona

IsoNova

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE FOSGENO

PROYECTO FIN DE GRADO
Ingeniería química



CAPÍTULO 1:

ESPECIFICACIONES



ISONOVA



escola
d'enginyeria

UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona

Índice

1. Especificaciones del proyecto	6
1.1. Definición del proyecto.....	6
1.1.1. Bases del proyecto	6
1.1.2. Diseño del proyecto	7
1.1.2.1. Métodos de obtención del fosgeno	8
1.1.3. Localización de la planta	9
1.1.3.1. Parámetros de edificación de la planta y plano de la parcela	10
1.1.3.2. Servicios disponibles de planta	11
1.1.3.3. Características del medio físico	12
1.1.3.3.1. Climatología	12
1.1.3.3.2. Viento	13
1.1.3.3.3. Geología y geomorfología	13
1.1.3.3.4. Sismología	13
1.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad a la planta.....	13
1.2.1. Comunicación por tuberías	14
1.2.2. Comunicación viaria	14
1.2.2. Comunicación ferroviaria	15
1.2.3. Comunicación aérea	16
1.2.4. Comunicación marítima	17
1.3. Características de los compuestos implicados en el proceso	17
1.3.1. Materias primas	17
1.3.1.1. Monóxido de carbono.....	17
1.3.1.2. Cloro.....	19
1.3.1.3. Carbón activado	20
1.3.2. Subproductos	20
1.3.2.1. Dióxido de carbono.....	20
1.3.2.2. Tetracloruro de carbono.....	22
1.3.3. Producto final de interés	23
1.3.3.1. Utilidades del fosgeno.....	24
1.3.3.1.1. Producción de MDI.....	24

1.3.3.1.2. Manufactura de productos químicos y separación de minerales.....	24
1.3.3.1.3. Arma química de guerra	25
1.4. Proceso de producción	25
1.4.1. Descripción general del proceso	25
1.4.1.1. Descripción detallada del proceso.....	28
1.4.1.2. Abreviaturas	31
1.4.2. Diagrama de bloques	33
1.4.3. Diagrama de proceso	34
1.4.4. Balance de materia	35
1.5. Necesidades de servicio de plana.....	40
1.5.1. Energía eléctrica	40
1.5.2. Alcantarillado	40
1.5.3. Gas natural	41
1.5.4. Agua	41
1.5.4.1. Agua de red	41
1.5.4.2. Agua de refrigeración	42
1.5.4.3 Vapor de agua condensado	42
1.5.4.4. Agua contra incendios	42
1.5.4.5. Aire comprimido.....	43
1.5.4.6. Terreno	43
1.6. Constitución de la planta.....	44
1.7. Plantilla de trabajadores.....	45
1.8. Planificación temporal.....	48
1.9 Bibliografía.....	51

1. Especificaciones del proyecto

Este capítulo presenta las especificaciones que describen el proyecto, que son una descripción general de ellas, la ubicación de la planta, la capacidad productiva y los recursos necesarios para su operación.

1.1. Definición del proyecto

El objetivo de este es diseñar una planta de producción, en continuo, de fosgeno a partir de la reacción catalítica sobre carbón activo entre el monóxido de carbono y cloro que necesita la planta para fabricar 200.000T/año de MDI.

1.1.1. Bases del proyecto

Dado el objetivo que se ha mencionado previamente, es necesario detallar las especificaciones requeridas para el diseño de la planta en cuestión.

- Capacidad de producción: La planta tendrá una capacidad de producir 343,62 toneladas al día durante un año.
- Presentación del producto: Para la producción de MDI, el fosgeno se producirá directamente en la planta debido a estar clasificado en la Lista 3 de la Convención sobre Armas Químicas, lo que hace no poder venderse ni sacar de la planta, y debido a superar también las 30 toneladas anuales de producción, debiendo así, ser declarada ante la OPAQ.
- Funcionamiento de la planta: Se cuenta con un total 335 días al año de producción en la planta. Los días restantes al año se utilizarán para hacer la parada de la planta de producción y llevar a cabo el mantenimiento preventivo, correctivo y limpieza correspondientes de ella.
- Localización geográfica: IsoNova se llevará a cabo en el Polígono Industrial 'Satèl·lits', dentro del término municipal de Tarragona, específicamente en el Polo Petroquímico. El diseño de la planta, la construcción y la edificación de esta van a cumplir con los límites establecidos por la normativa urbanística de la zona; así se podrá garantizar un correcto funcionamiento y su gestión de residuos.

Cabe mencionar que la capacidad de producción de IsoNova asciende a 424,52 toneladas al día de fosgeno, cumpliéndose así el objetivo de producción nombrado anteriormente.

1.1.2. Diseño del proyecto

El diseño de la planta para la producción de fosgeno deberá contemplar los siguientes aspectos esenciales para su correcta proyección.

- Estudio de las unidades de materias primeras destinadas hacia IsoNova por tubería para la producción de fosgeno.
- Especificación y diseño de ingeniería básica de todo el equipamiento necesario para los procesos de producción y reacción del producto.
- Configuración, numeración y programación de los sistemas de control, instrumentación y automatización necesarios para garantizar una monitorización adecuada de la planta.
- Diseño y especificación de las tuberías, válvulas, bombas y demás accesorios requeridos para el paso del producto tratado.
- Inclusión de las áreas de servicio indispensables para cubrir las necesidades operativas de la planta.
- Distribución de oficinas, laboratorios, vestuarios y servicios sanitarios.
- Organización de las áreas auxiliares (aparcamientos, controles de acceso, protección contra incendios, gestión de aguas y gases).
- Evaluación económica del proyecto, análisis de la competencia en el mercado y estudio sobre la viabilidad y rendimiento de la planta.
- Estudio del impacto ambiental (emisiones gaseosas, efluentes líquidos y residuos sólidos) y diseño de los sistemas de tratamiento para garantizar que los contaminantes se mantengan por debajo de los límites permitidos.

- Elaboración de un protocolo para la puesta en marcha de la planta.
- Dimensionamiento completo de la planta y representación del proceso en diagramas y planos como es el P&D.

1.1.2.1. Métodos de obtención del fosgeno

Finalmente, antes de detallar la información del proyecto, se estudia y se justifica la elección del método de obtención de fosgeno en IsoNova ante otros ya existentes que se describen a continuación:

1. Método de reacción catalítica con carbón activado: Este método implica la reacción de monóxido de carbono con cloro en presencia de carbono activado como catalizador donde acelera la reacción sin consumirse.
2. Método de cloruro potásico: Este método implica una reacción entre el cloruro de potasio y el monóxido de carbono que se lleva a cabo en presencia de cloro a muy altas temperaturas (500-700°C).
3. Obtención de fosgeno a partir de cloroformo: Esta se basa en la reacción de cloroformo con cloro a temperaturas altas, lo que produce fosgeno y cloruro de hidrógeno como subproducto.

Así pues, debido a que los dos últimos métodos anteriores requieren temperaturas más altas, reduciendo así la eficiencia energética y forman subproductos que requieren neutralización que genera costes adicionales, se escoge el método de reacción catalítica con carbón activado para obtener un mayor rendimiento y grado de conversión además de hacer el proceso más económico y seguro.

1.1.3. Localización de la planta

La planta se ubica en el término municipal de Tarragona. El polígono industrial se llama “Satèl·lits”. La planta está en una parcela de este municipio delimitada por la Calle de Europa.

Tarragona es una ciudad española situada en la comarca del *Tarragonès*, en la provincia de Tarragona, perteneciente a la comunidad autónoma de Cataluña; tal como se muestra en la *Figura 1.1*. La ciudad está ubicada en la costa del mar Mediterráneo y su término municipal abarca una superficie de aproximadamente 57,9 km², colindando con los municipios de Salou, Reus, Constantí y Torredembarra. Según los datos de 2022, Tarragona tiene una población de alrededor de 134.883 habitantes.



Figura 1.1: Localización geográfica de Tarragona

1.1.3.1. Parámetros de edificación de la planta y plano de la parcela

La superficie de la parcela destinada a la construcción de la planta de producción de fosgeno es de 12.511 m², como se ilustra en la *Figura 1.2*.

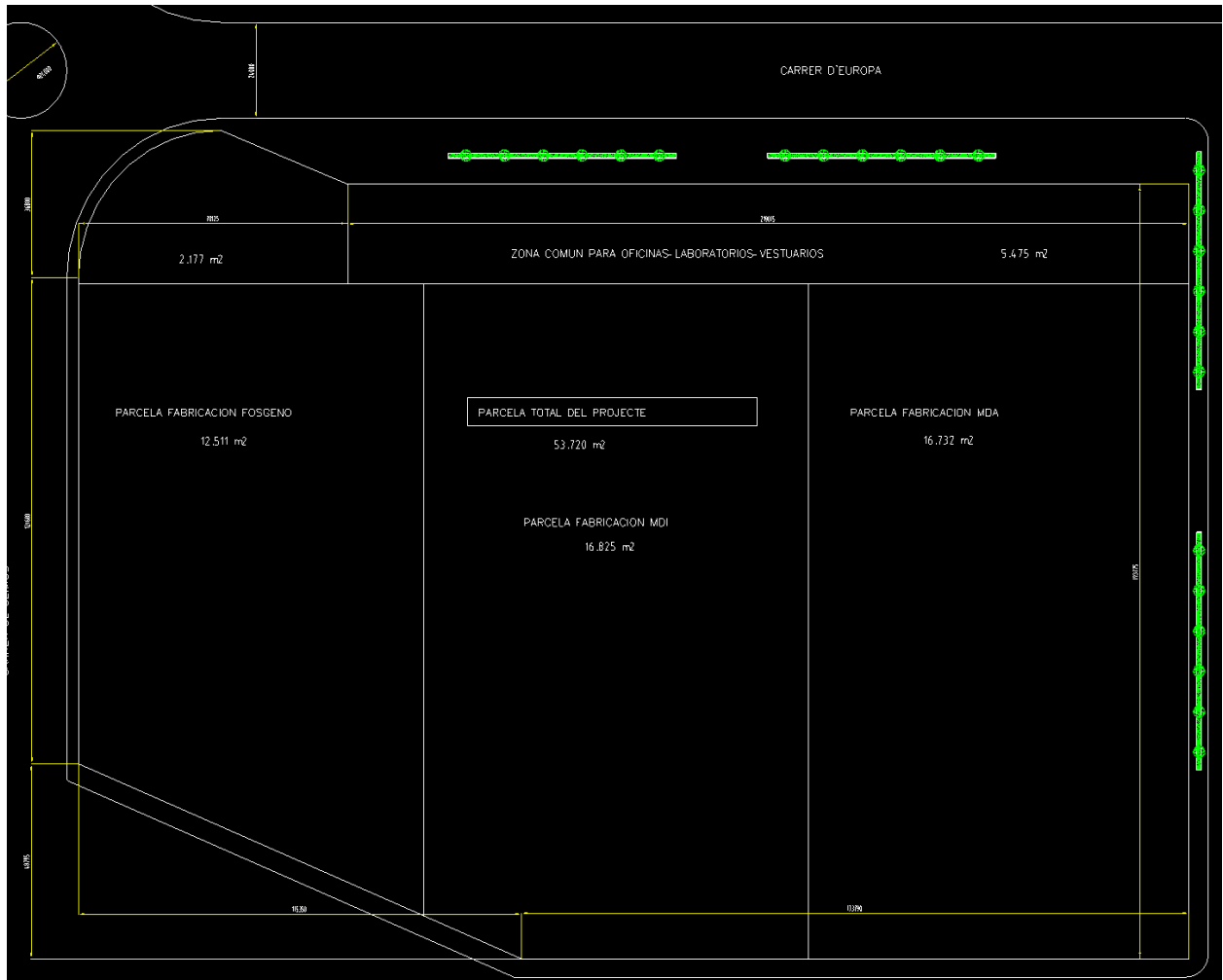


Figura 1.2: Plano de la parcela

En esta superficie, se tendrá en cuenta la superficie construida para oficinas, laboratorios y vestuarios necesarios para IsoNova que son un total de 5.475m² según el plano de la *Figura 1.2*. Así pues, la parcela total que se tiene en cuenta para el diseño de la planta de producción de fosgeno tiene un total de 17.986m² de trabajo.

Para la correcta edificación de la planta, se cumplen las restricciones obligatorias de la normativa urbanística, las cuales se detallan en la *Tabla 1.1* a continuación:

Tabla 1.1: Paramentos de edificación obligatorios de la parcela

Edificabilidad	1,5 m ² de techo/m ² de suelo
Ocupación máxima de la parcela	75%
Ocupación mínima de la 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 necesidad por el proceso
Altura mínima	4m y 1 planta
Aparcamientos	1 plaza/150 m ² construidos
Distancia entre edificios	1/3 del edificio más alto con un mínimo de 5m

Entonces, la parte edificable de la parcela en este caso constará de un 75% de la superficie total de la parcela, por lo tanto, será de un valor de 13489,50 m² para el proyecto final de la planta.

1.1.3.2. Servicios disponibles de planta

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de la propia planta y de su proceso de producción, a continuación, se proporcionan los servicios que han sido prestados. Estas disposiciones se detallan en la *Tabla 1.2*.

Para cada uno de los servicios ofrecidos al proyecto, se pueden aplicar las distancias estipuladas por la regulación del polígono industrial.

Tabla 1.2: Servicios disponibles

Energía eléctrica	Conexión desde la línea de 20 kV a pie de la 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 en el 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 y reserva de agua
Agua de red	Acometida a pie de parcela a 4 kg/cm ² con un diámetro de 200 mm
Terreno	Resistencia de terreno a 2 kg/cm ² a 1,5 m de profundidad sobre gravas.

1.1.3.3. Características del medio físico

En esta sección se abordarán las características geográficas y climáticas del área, las cuales son fundamentales para la toma de decisiones en el diseño y construcción de la planta de producción. Cabe destacar la relevancia de entender el terreno para prevenir problemas y garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.

1.1.3.3.1. Climatología

Tarragona tiene un clima mediterráneo, caracterizado por veranos cálidos y secos, e inviernos suaves y húmedos. La temperatura media anual ronda los 15.5°C, lo que permite una buena actividad agrícola durante la mayor parte del año.

1.1.3.3.2. Viento

En Tarragona, al ser una ciudad costera, la velocidad del viento es relativamente constante, con promedios de aproximadamente 12 km/h durante los meses de otoño e invierno, y alrededor de 10 km/h en primavera y verano. Esto contribuye a un clima agradable durante todo el año.

1.1.3.3.3. Geología y geomorfología

En la zona de Tarragona no se encuentran explotaciones mineras a gran escala, pero hay canteras activas que extraen materiales como calizas, areniscas y margas, utilizados en la construcción. También se encuentran sedimentos de la era cuaternaria, que son relevantes para la agricultura y la construcción.

Las aguas subterráneas de la zona se utilizan para el riego agrícola y el abastecimiento de agua potable gracias a la presencia de acuíferos.

1.1.3.3.4. Sismología

Según los informes del Instituto Geológico de Cataluña, la región de Tarragona ha experimentado sismos que no superan un valor de 3.2 en la escala de Richter. Esto significa que cualquier actividad sísmica en la zona es generalmente leve y rara vez percibida por los residentes, haciendo así, una construcción segura para la planta.

1.2. Evaluación de las comunicaciones y accesibilidad a la planta

Este aspecto es importante al momento de ubicar la planta, ya que las materias primas que llegan a la empresa son externas. La interacción con los proveedores tanto de materias primas como de las demás accesibilidades requeridas, teniendo el acceso a la planta para los trabajadores, son factores importantes que influyen en la economía y en el tiempo de operación.

Mantener una comunicación efectiva es esencial, ya que el acceso adecuado es fundamental para una correcta distribución del producto.

A continuación, se detallan los principales transportes que se encuentran en las proximidades de la planta.

1.2.1. Comunicación por tuberías

En IsoNova, el cloro llega en estado líquido y el monóxido de carbono llega a la planta en fase gaseosa. Las dos materias primeras llegan por tuberías diseñadas para asegurar un suministro continuo, seguro y eficiente, cumpliendo con las normativas de seguridad industrial y garantizando la pureza de las materias primas antes de su uso en la reacción de síntesis de fosgeno.

Se hace de esta manera para evitar así, los muchos camiones de transporte que necesitaríamos para que se suministrara el cloro y el monóxido de carbono requerido.

Debido a la presencia de la industria química de la zona, llegan los reactivos por tuberías de una empresa externa.

1.2.2. Comunicación viaria

Tarragona cuenta con una buena red de comunicación gracias a diversas carreteras, entre ellas las comarcales C-14, C-37 y C-51, que facilitan el acceso a la ciudad tal y como se puede ver en la *Figura 1.3*. La autovía AP-7, que recorre la costa mediterránea desde la frontera con Francia hasta Algeciras, conecta Tarragona con importantes ciudades como Barcelona y Valencia.

Para la comunicación con el interior de España, Tarragona se beneficia de la autovía A-27, que conecta la ciudad con la autovía A-2, una de las principales vías de comunicación que une Madrid con Barcelona. También se puede acceder a la autovía A-7, que proporciona un enlace rápido con la zona sur del país.

Además, la carretera nacional N-240, que es una de las más largas de España, atraviesa Tarragona, conectando la ciudad con lugares de la costa, desde Cádiz hasta Barcelona, pasando por varias provincias.

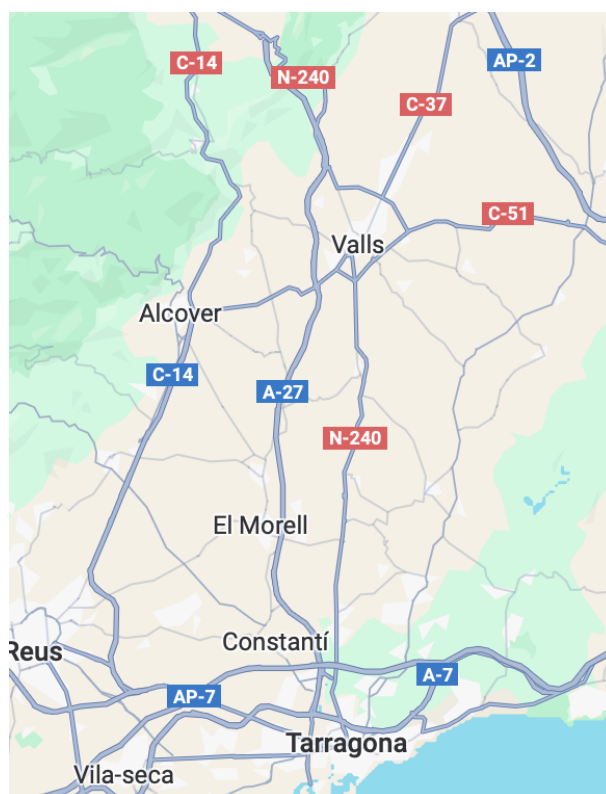


Figura 1.3: Comunicación viaria de Tarragona

1.2.2. Comunicación ferroviaria

La red de transporte de mercancías en la zona de Tarragona se basa en dos ejes fundamentales: el eje Mediterráneo y el eje del Ebro, que se cruzan en la conexión Tarragona-Barcelona-Gerona-Francia.

Además, Tarragona cuenta con dos estaciones principales de tren:

1. **Estación de Tarragona (ciudad):** Ubicada en el centro, tal y como se ilustra en la *Figura 1.4*, conecta con trenes de cercanías (líneas R-14 y R-15), regionales y de media/larga distancia, ofreciendo servicios a ciudades como Barcelona, Lleida, Valencia, Zaragoza, y Madrid. Es ideal para trayectos dentro de Cataluña y otras localidades del Mediterráneo.

2. **Estación de Camp de Tarragona:** Situada a 10 km del centro, es la estación de alta velocidad (AVE y Avant), conectando en 30 minutos con Barcelona, 2h30 con Madrid, y también con Zaragoza, Valencia y Alicante.



Figura 1.4: Comunicación ferroviaria de Tarragona

1.2.3. Comunicación aérea

El Aeropuerto de Reus es un aeropuerto que se ubica a aproximadamente 8 km al oeste del centro de Tarragona. Se encuentra cerca de la costa mediterránea y a unos 13 km del puerto de Tarragona, a una altitud de 100 metros sobre el nivel del mar.

Este aeropuerto maneja un volumen considerable de mercancías anualmente y ofrece diversas rutas internacionales, principalmente hacia destinos europeos. Las compañías de transporte de carga más destacadas que operan en el Aeropuerto de Reus incluyen Air Europa, Vueling y otras aerolíneas de carga que facilitan el envío de productos y mercancías, así como transporte de personas.

1.2.4. Comunicación marítima

El Puerto de Tarragona es un puerto marítimo español ubicado en la costa noreste de la península ibérica, junto al mar Mediterráneo. Se encuentra a aproximadamente 10 km del centro de Tarragona y es uno de los principales puertos de Cataluña.

Este puerto se destaca por su capacidad para manejar diversos tipos de cargas, incluyendo mercancías comerciales e industriales. Su infraestructura está diseñada para atender las necesidades de los diferentes sectores económicos, lo que lo convierte en un punto estratégico para la distribución de productos en rutas marítimas hacia varios destinos europeos y del Mediterráneo, aunque IsoNova tiene suministros de productos por tubería.

1.3. Características de los compuestos implicados en el proceso

Seguidamente, se caracterizarán y describirán los compuestos implicados en la producción de fosgeno y se nombrarán sus propiedades físicas.

1.3.1. Materias primas

1.3.1.1. Monóxido de carbono

El monóxido de carbono es un compuesto químico que contiene un átomo de carbono y un átomo de oxígeno. Tiene la fórmula química CO y es un gas incoloro e insípido que se conoce por ser altamente venenoso.

El monóxido de carbono se forma como resultado de la combustión incompleta de materiales que contienen carbono. Aunque es venenoso para nosotros, el monóxido de carbono se utiliza ampliamente en la industria como también para la síntesis del fosgeno.

En la planta, el monóxido de carbono se administra en formas de gas comprimido en tubería y se tiene que tratar con cuidado debido a su toxicidad comentada. Por eso, se dejan plasmadas las propiedades fisicoquímicas del reactivo en la *Tabla 1.3* a continuación.

Tabla 1.3: Propiedades fisicoquímicas del monóxido de carbono

Fórmula	CO
Peso molecular (g/mol)	28
Densidad (kg/m ³)	1,184
Punto de fusión (°C)	-202
Punto de ebullición (°C)	-191
Solubilidad en agua (g/100g H ₂ O)	0,0026
Presión de vapor a 20°C (bar)	58,80
Temperatura de autoignición (°C)	609
Límites de inflamación (% en volumen aire)	12,5 - 74

Para tener en cuenta la parte de seguridad del proyecto, cabe mencionar que el monóxido de carbono puede ser peligroso en los siguientes aspectos:

- Inhalación: Si se inhala, el monóxido de carbono resulta ser extremadamente peligroso, ya que interfiere con la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. En un escenario típico, esto causa dolor de cabeza, mareos, confusión mental, inconsciencia y, si la concentración es lo suficientemente alta, la muerte.
- Contacto con la piel: Aunque no se absorbe bien en la piel, grandes cantidades de monóxido de carbono en forma líquida fría podrían causar quemaduras graves y necrosis después de un contacto prolongado.

Se puede identificar que el monóxido de carbono es uno de los gases más peligrosos, ya que tiene la capacidad de fijar la sangre con una fuerza cuatro veces mayor en comparación con el oxígeno, provocando asfixia.

1.3.1.2. Cloro

El cloro es un elemento químico con la fórmula molecular Cl_2 , formado por dos átomos de cloro enlazados covalentemente. Es un gas diatómico de color verde amarillento, con un fuerte olor penetrante y sofocante, conocido por su alta reactividad.

El cloro se utiliza ampliamente en la industria química, principalmente como desinfectante, en la producción de plásticos como el PVC, y en la fabricación de compuestos químicos.

En la planta, el cloro se maneja en forma líquida bajo condiciones de presión controlada por tubería donde sus propiedades físicas son las de la *Tabla 1.4* siguientes.

Tabla 1.4: Propiedades físicas del cloro

Fórmula	Cl_2
Peso molecular (g/mol)	70,91
Densidad (kg/m^3)	3,214
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	-102
Punto de ebullición ($^{\circ}\text{C}$)	-34
Entalpía de vaporización (kJ/mol)	10,2
Entalpía de fusión (kJ/mol)	3,203
Presión de vapor a 20°C (bar)	0,01

Los riesgos del cloro son:

- Inhalación: El cloro es altamente tóxico si se inhala. Puede causar irritación al respirar, provocando tos y dolor de pecho.
- Contacto con la piel: El contacto directo con cloro líquido o en altas concentraciones puede causar quemaduras graves, e irritación de la piel.

El cloro es muy corrosivo y se manejará con cuidado en las instalaciones debido a su naturaleza reactiva. Además, reacciona con una amplia variedad de sustancias, las que incluyen metales y compuestos orgánicos.

1.3.1.3. Carbón activado

El carbón activado es una forma de carbono procesado para tener una estructura altamente porosa, lo que le proporciona una gran superficie específica y una alta capacidad de adsorción. Dicho producto va a ser muy útil, ya que las entradas y salidas de las partículas de carbono tienen la superficie específica suficiente para que las partículas de materias primas reaccionen entre sí.

Este material es conocido por su capacidad para retener impurezas y gases tóxicos debido a su porosidad, lo que lo convierte en una opción ideal para catalizadores, como en la producción del producto final de la planta.

En ella, el carbón activado se utiliza en estado sólido, colocado en los reactores donde actúa como catalizador para las reacciones químicas, aprovechando sus propiedades adsorbentes y catalíticas.

Cabe destacar que, cuanto más finas son las partículas del carbón activado, mejor es el acceso al área superficial y más rápida es la tasa de cinética de absorción. En sistemas de fase vapor, esto se debe considerar junto con la caída de presión, que afecta los costes energéticos. Por ese motivo, se ha elegido cuidadosamente el tamaño de las partículas para proveer significativos beneficios operativos.

1.3.2. Subproductos

1.3.2.1. Dióxido de carbono

El dióxido de carbono es un compuesto químico formado por un átomo de carbono y dos átomos de oxígeno, con estructura lineal.

Es un gas incoloro e inodoro en condiciones normales, aunque a altas concentraciones puede tener un olor un poco ácido. Es conocido por ser un gas de efecto invernadero y por su papel en los procesos de combustión y respiración.

El CO₂ se utiliza ampliamente en la industria química para la producción de productos como plásticos, refrigerantes y en procesos de carbonatación. También es un subproducto en diversas reacciones químicas, como la de este proyecto.

En la planta, el dióxido de carbono se maneja en estado gas, bajo presión controlada y transportado por tubería, y sus propiedades físicas se detallan en la *Tabla 1.5* siguiente.

Tabla 1.5: Propiedades fisicoquímicas del dióxido de carbono

Fórmula	CO ₂
Peso molecular (g/mol)	44,01
Densidad (kg/m ³)	1,976
Punto de fusión (°C)	-78
Punto de ebullición (°C)	-57
Presión crítica (atm)	72,83
Temperatura crítica (°C)	31
Entalpía de formación _(g) (kJ/mol)	-393,52

Los riesgos del dióxido de carbono son:

- Ingestión: Puede causar irritación, náuseas, vómitos y hemorragias en el tracto digestivo.
- Inhalación: Produce asfixia, causa hiperventilación. La exposición a largo plazo es peligrosa. Asfixiante a grandes concentraciones
- Piel y ojos: En estado líquido puede producir congelación y congelación de estos.

1.3.2.2. Tetracloruro de carbono

El tetracloruro de carbono es un compuesto químico donde un átomo de carbono está enlazado a cuatro átomos de cloro. Es un líquido claro, denso y no inflamable, conocido por su distintivo olor dulce. Aunque su uso ha disminuido debido a su toxicidad, sigue siendo importante en algunos procesos industriales.

Históricamente, el tetracloruro de carbono se ha utilizado como disolvente y en la fabricación de refrigerantes, además de jugar un papel en la síntesis de productos como, en este caso, el producto de interés, donde irá hacia una condensación posterior a la salida del reactor.

En la planta, el tetracloruro de carbono tiene medidas de seguridad, y se encuentra por tuberías adecuadas para evitar riesgos. Las propiedades físicas clave de este compuesto se detallan en la *Tabla 1.6.* a continuación.

Tabla 1.6: Propiedades fisicoquímicas del tetracloruro de carbono

Fórmula	CCl ₄
Peso molecular (g/mol)	153,8
Densidad (kg/m ³)	1595
Punto de fusión (°C)	-23
Punto de ebullición (°C)	77
Presión crítica (atm)	55
Temperatura crítica (°C)	283
Entalpía de formación _(g) (kJ/mol)	-95,5

- Ingestión: Puede causar daños al hígado y los riñones, náuseas, vómitos, y diarrea. La ingestión también puede producir efectos en el sistema nervioso central.
- Inhalación: La exposición a vapores puede provocar irritación respiratoria, mareos, dolor de cabeza y pérdida de la conciencia.

- Contacto con la piel y ojos: El contacto con la piel puede causar irritación y sequedad. El contacto prolongado o repetido puede provocar dermatitis. Si entra en contacto con los ojos, produce irritación grave.

1.3.3. Producto final de interés

El fosgeno es un compuesto químico con la fórmula molecular COCl_2 . Es un gas incoloro que posee un olor característico a moho, aunque en concentraciones altas, como en este proyecto, su aroma puede ser difícil de detectar, lo que aumenta su peligrosidad característica. El fosgeno se clasifica como un compuesto orgánico y es un agente químico altamente tóxico con las propiedades fisicoquímicas en la *Tabla 1.7.* más abajo.

En la planta, el fosgeno se fabricará y se consumirá a la vez, ya que está declarado en la Declaración de Armas Químicas de la OTAN, por eso, no se puede almacenar.

Tabla 1.7: Propiedades fisicoquímicas del fosgeno

Fórmula	COCl_2
Peso molecular (g/mol)	98,9
Densidad (kg/m ³)	1432
Punto de ebullición (°C)	8
Punto de fusión (°C)	-118
Solubilidad en agua	Hidrólisis
Presión de vapor a 20°C (atm)	1,6

Los riesgos del fosgeno son:

- Inhalación: Puede causar dilatación pulmonar, dificultad respiratoria y daño pulmonar grave siendo muy mortal.
- Ingestión: Si se ingiere fosgeno líquido, puede resultar dañino para la boca, garganta, esófago y estómago.

- Contacto con la piel u ojos: Puede provocar quemaduras químicas; el fosgeno líquido puede causar congelación, aunque el contacto con esta forma es poco probable que pase.

1.3.3.1. Utilidades del fosgeno

1.3.3.1.1. Producción de MDI

El fosgeno es un reactivo clave en la producción de MDI (diisocianato de metileno difenilo), un compuesto esencial en la industria química, especialmente en la fabricación de poliuretanos.

Se utiliza fosgeno debido a su capacidad para reaccionar eficientemente con aminas y convertirlas en isocianatos, que son los bloques esenciales para la fabricación de poliuretanos y por su alta reactividad química, ya que permite introducir los grupos isocianato al reaccionar con los grupos amino de la diamina de metilenodifenilo (MDA).

1.3.3.1.2. Manufactura de productos químicos y separación de minerales

El fosgeno se utiliza para la producción de pinturas, isocianatos y policarbonatos. Actúa como agente clorante y modificador de estructuras químicas, lo que aumenta la eficacia de productos, como plásticos y tintes.

Los isocianatos, un producto del fosgeno, son necesarios para la fabricación de poliuretanos que se utilizan para hacer espumas y recubrimientos.

En la industria agroquímica, el fosgeno se utiliza como agente clorante al producir plaguicidas. Acelera las propiedades de ingredientes activos que matan insectos y malezas y, por lo tanto, aumenta la productividad y la calidad de los cultivos.

Con el fin de mejorar el rendimiento en la extracción de minerales metálicos, el fosgeno forma compuestos solubles que facilitan la recuperación de metales valiosos.

Debido a su alta capacidad para formar componentes complejos, el fosgeno se aplica a la separación y el procesamiento mineral.

1.3.3.1.3. Arma química de guerra

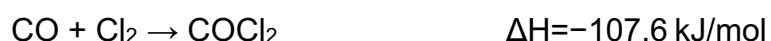
Además de los usos pacíficos, el fosgeno ha sido utilizado en la Primera Guerra Mundial como guante. Este gas incoloro causa un efecto letal en los pulmones. Dado que mata a una víctima en un tiempo relativamente largo después de la exposición, causa un daño severo al pulmón y es extremadamente humillante. Por lo tanto, el fosgeno es un agente prohibido por el Protocolo de Ginebra y la Convención sobre armamento químico. La historia de su guerra ilustra la necesidad de medidas de seguridad adecuadas para evitar que la gente pelee con productos químicos.

1.4. Proceso de producción

1.4.1. Descripción general del proceso

El fosgeno se produce a través de una reacción entre monóxido de carbono y cloro en fase gaseosa, utilizando un catalizador sólido. En este caso, el catalizador empleado es el carbón activado en forma granular, con un tamaño de grano que oscila entre 3 y 5 mm. Este tipo de catalizador ofrece una amplia superficie activa que favorece la reacción y garantiza una alta eficiencia en la producción del fosgeno. La reacción es altamente exotérmica, lo que implica una liberación significativa de calor, con una entalpía de formación de -107,6 kJ/mol.

La reacción química comentada es la siguiente:



Esta reacción tiene lugar dentro de un reactor multitubular de acero inoxidable, que es ideal para manejar las condiciones de temperatura y presión requeridas para la producción de fosgeno con un fluido térmico en el exterior de los tubos.

En este tipo de reactor, el monóxido de carbono y el cloro se introducen en estado gaseoso y, antes de entrar en contacto con el catalizador, ambos gases son mezclados para asegurar una reacción homogénea.

Es fundamental el uso de monóxido de carbono en exceso respecto al cloro, ya que esto garantiza que todo el cloro reaccione completamente, minimizando la presencia de cloro residual en el fosgeno producido, lo que a su vez mejora la pureza del producto final.

En este diseño de reactor multitubular, se mantiene un equilibrio térmico mediante un control preciso del sistema de refrigeración, lo que permite operar en un rango de presión de entre 2 y 5 bar. Este rango de presión es favorable porque facilita la condensación del fosgeno producido en su fase líquida en etapas posteriores del proceso.

El proceso empieza con la mezcla de los gases reactivos donde el monóxido de carbono y el cloro gaseoso se mezclan en un *mixer* antes de su entrada al reactor. Para optimizar las condiciones de operación y asegurar que la mezcla de gases ingrese al reactor a la temperatura adecuada, parte del flujo de agua de refrigeración es desviado hacia un sistema de refrigeración adicional, manteniendo los gases reactivos dentro del rango de la temperatura óptima.

Una vez mezclados, los gases reaccionan en el interior del reactor multitubular donde la eficiencia del proceso se mejora con la recirculación de parte el agua de salida del reactor hacia el *mixer* y el evaporador de cloro, donde se vuelven a mezclar con los gases que ingresan en los equipos. Este reciclaje permite aprovechar reactivos no consumidos completamente en el ciclo anterior, lo que aumenta el rendimiento global del proceso y reduce las pérdidas de material.

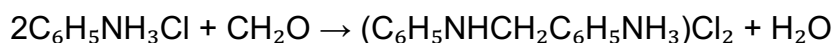
Seguidamente, los gases tales como fosgeno, monóxido de carbono, cloro no reaccionado, y subproductos de la reacción, como dióxido de carbono y tetracloruro de carbono se dirigen a un condensador, donde el fosgeno, debido a su mayor tendencia a condensarse, se separa en su fase líquida. En esta etapa, se puede recolectar fosgeno líquido.

Así pues, el fosgeno producido es un reactivo clave en la síntesis de MDI, lo que implica su uso inmediato en la planta para evitar almacenamiento prolongado. Para la fabricación del MDI, se requiere primero la síntesis de MDA (diaminodifenilmetano). Este proceso incluye las siguientes reacciones:

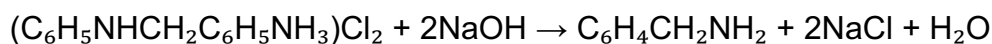
1. Reacción de la anilina con HCl para formar hidrocloreto de anilina:



2. Reacción del hidrocloreto de anilina con formaldehído para obtener hidrocloreto de MDA:

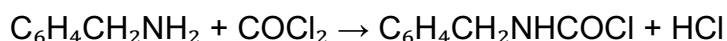


3. Neutralización del hidrocloreto de MDA para formar MDA:

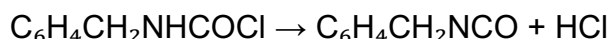


Seguidamente, el MDA se somete a una fosgenación con fosgeno, lo que produce MDI en una serie de reacciones controladas:

1. Formación de cloruro de carbamilo:



2. Formación de isocianato de difenilmetano:



3. Formación de MDI:



Los gases restantes que no han condensado como con el fosgeno líquido, que contienen trazas de CO, CO₂ y Cl₂, pasan a una torre de absorción donde se someten a un proceso de purificación. Se utiliza un *scrubber* para eliminar las impurezas restantes mediante glicerol externo, garantizando que el fosgeno producido esté libre de contaminantes y que los gases no deseados sean eliminados.

Finalmente, los gases que no pueden ser reutilizados se eliminan a través de un sistema de desecho, asegurando que no se liberen contaminantes al entorno y, el monóxido de carbono que sale del equipo se recircula hacia la entrada de reactivos, mejorando así el aprovechamiento de este gas, mejorando la eficiencia del proceso y reduciendo costos e impacto ambiental.

1.4.1.1. Descripción detallada del proceso

El proceso comienza con el transporte de los reactivos. El monóxido de carbono se transporta a través de tuberías a una temperatura de -173,1°C y se introduce en el mixer, una vez logrado el estado estacionario, el CO se recirculará de la salida de él del *scrubber*. Por otra parte, el cloro líquido se vaporiza mediante calor proporcionada por el agua que se recircula del reactor hasta alcanzar aproximadamente 40°C. Este cloro en forma gaseosa se mezcla con el monóxido de carbono antes de entrar al reactor. La combinación de estos dos gases se realiza en el mixer, que asegura su homogeneidad para optimizar las condiciones de la reacción que sigue después.

Una vez que los gases están mezclados, se introducen en un reactor de acero inoxidable, que cuenta con un lecho empacado de carbón activado donde se quedará en el reactor hasta su mantenimiento. Este catalizador, gracias a su gran superficie activa, facilita la reacción exotérmica entre el cloro y el monóxido de carbono.

Cabe destacar que, durante la reacción, se utiliza un exceso de monóxido de carbono para garantizar que todo el cloro reaccione, minimizando así su presencia en los productos finales y evitando problemas de corrosión en todo el proceso siguiente.

En el reactor, el monóxido de carbono y el cloro reaccionan para formar fosgeno con una conversión del 97,62%. El proceso se lleva a cabo a una presión de entrada de 5 bar y una temperatura de 50°C. A medida que la reacción avanza, la temperatura aumenta a 150°C debido a la liberación de calor exotérmico.

La presión de salida disminuye a 4,07 bar, lo que facilita la separación del fosgeno. También, la velocidad del flujo es de 1,5 m/s, lo que asegura un tiempo de residencia adecuado para la reacción.

El calor generado se controla mediante un sistema de refrigeración para mantener condiciones seguras y eficientes en el reactor donde mucha parte de él es enviada hacia dicha regeneración y, una vez enfriado, se envía una parte en su entrada.

Los gases generados en el reactor, que incluyen fosgeno, monóxido de carbono y cloro no reaccionado, se dirigen al condensador. En esta fase, el fosgeno se separa en su forma líquida gracias a su capacidad de condensarse a temperaturas específicas. Este fosgeno líquido se recoge como el producto final de interés del proceso de la planta. El agua de refrigerante que se ha calentado, también se envía a las torres de servicios.

Los gases residuales, que pueden contener subproductos, pasan por un *scrubber* donde se eliminan las últimas impurezas y trazas de gases mediante glicerol externo.

Finalmente, los gases que no pueden ser reciclados se eliminan de manera segura a través de un sistema de desecho hacia gestión externa.

En cuanto a los servicios auxiliares, es importante mencionar el suministro de aire comprimido, que es esencial para las operaciones del proceso como son los compresores, ya que se utiliza para mantener el flujo de gases y otros componentes en el sistema, como en la operación de válvulas y el control de presión en las tuberías.

Otro elemento esencial en los servicios auxiliares es la caldera, que suministra el calor necesario para varios procesos dentro de la planta como son el evaporador y el mixer, como la vaporización del cloro.

Como se ha visto, el sistema de agua de refrigeración es crucial para mantener la temperatura del proceso dentro de límites, especialmente en el reactor y en los sistemas anteriores.

Por último, cabe mencionar que se cuenta con un reactor auxiliar que opera durante el mantenimiento del reactor principal, garantizando la continuidad del proceso sin interrupciones. Este diseño está pensado para maximizar la eficiencia y cumplir con las normativas ambientales, utilizando un control de los equipos involucrados en el proceso.

1.4.1.2. Abreviaturas

Las abreviaturas de los equipos principales que se muestran en el diagrama de bloques a continuación son los utilizados en todo el proceso del proyecto que se especifican en la siguiente *Tabla 1.8* con el fin de poder identificar correctamente los diferentes equipos que conforman la planta de producción.

Tabla 1.8: Nomenclatura de los equipos de la planta

Equipo	Nomenclatura
Mixer	M - 001
Reactor	R - 001
Condensador	C - 001
<i>Scrubber</i>	S - 001
Compresor	CC - 001
Bomba	P - 001
Torre de refrigeración	TR - 001
Evaporador	E - 001
Caldera	K - 001

La nomenclatura viene dada por:

A - 001

A: Son las letras que describen el equipo en concreto.

001: El primer número es el área donde se encuentra situado y los otros dos son el número secuencial que permite identificar equipos similares si hay más de uno de ellos.

1.4.2. Diagrama de bloques

En este apartado se representa, mediante la *Figura 1.5*, el entendimiento esquemático del proceso donde también se pueden ver las líneas de proceso de recirculación en los equipos y recirculación a las torres de refrigeración, ya que están presentes en el balance de materia más adelante.

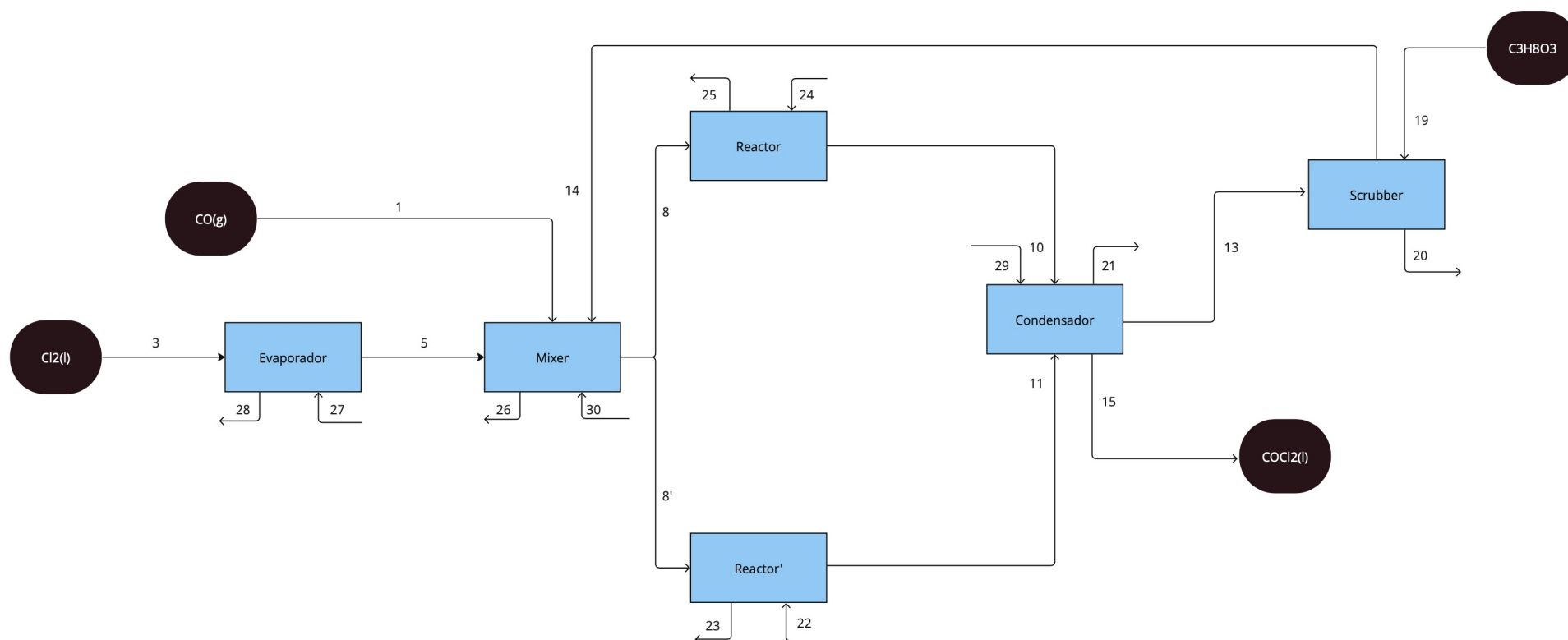


Figura 1.5: Diagrama de bloques de IsoNova

1.4.3. Diagrama de proceso

En este apartado se representa, mediante la *Figura 1.6*, el entendimiento esquemático del proceso general mediante un diagrama de proceso para tener un visual del explicado anteriormente, donde se puede observar las fases de él en la planta exenta de las líneas de servicios de la *figura 1.5.* anterior.

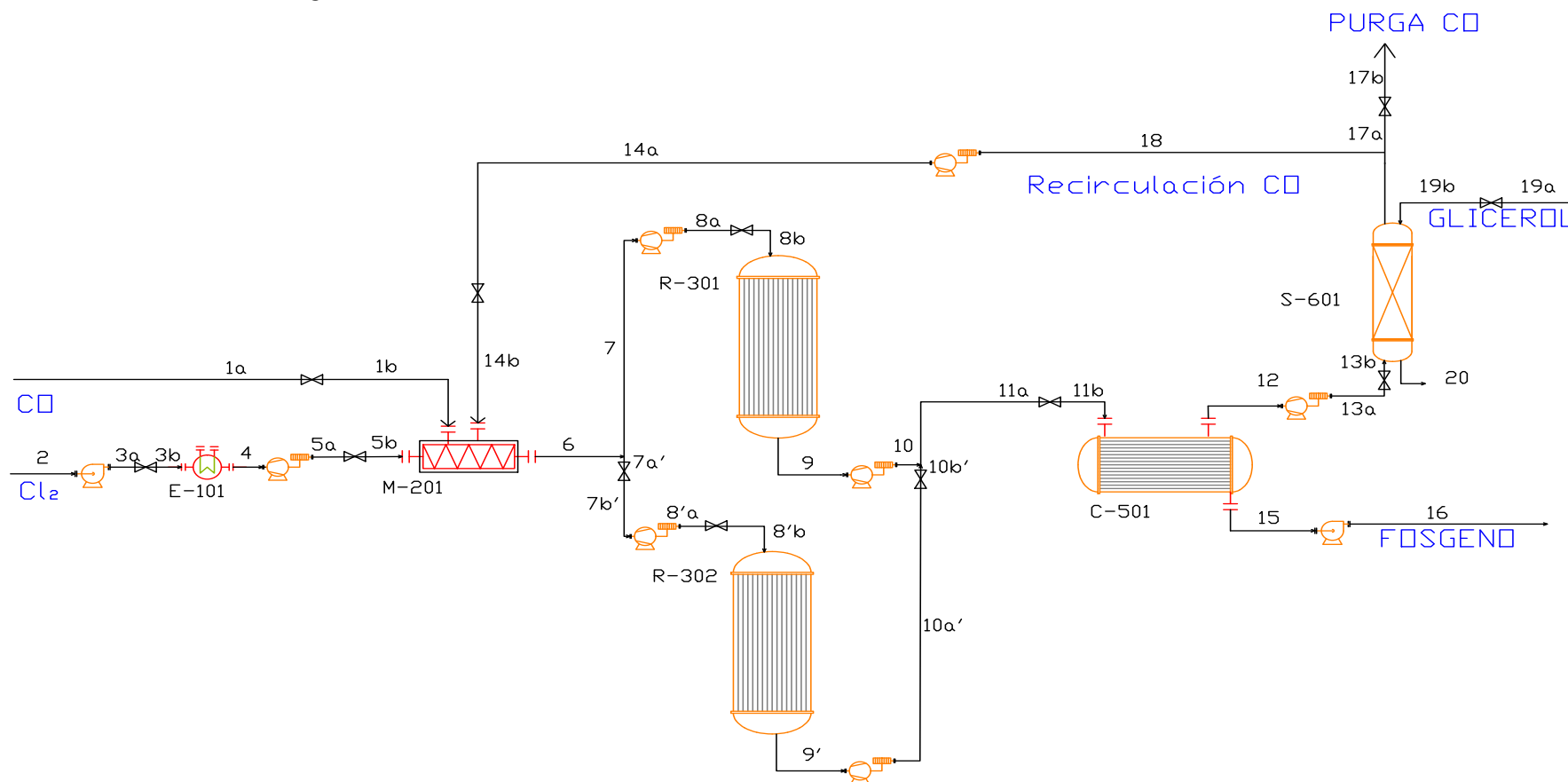


Figura 1.6: Diagrama de proceso de IsoNova

1.4.4. Balance de materia

Para llevar a cabo correctamente la producción de fosgeno, se debe realizar el balance de materia de todas las partes del proceso, es decir, de todas las líneas de corriente que se muestran a continuación en las siguientes partes de la *Tabla 1.9*.

Tabla 1.9: Balance de materia del proyecto (parte 1 de 4)

Corriente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	-173,1	7,00	7,00	27,82	27,82	50,00	50,00	50,00	150,00	150,00
Presión (bar)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,12	4,12
Densidad (kg/m3)	19,42	145,00	145,00	15,10	15,10	7,94	7,94	7,94	7,31	7,31
Viscosidad (cP)	$6,6922 \cdot 10^{-3}$	0,4367	0,4367	$1,404 \cdot 10^{-2}$	$1,404 \cdot 10^{-2}$	$1,804 \cdot 10^{-2}$	$1,804 \cdot 10^{-2}$	$1,804 \cdot 10^{-2}$	$2,142 \cdot 10^{-2}$	$2,142 \cdot 10^{-2}$
Fase	Gas	Líquida	Líquida	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas	Gas
Caudal total (kmol/h)	193,30	198,00	198,00	198,00	198,00	594,00	594,00	594,00	402,00	402,00
Caudal total (m3/h)	6,76	8,99	8,99	8,99	8,99	22,87	22,87	22,87	21,26	21,26
Caudal molar por componentes (kmol/h)										
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	<1%	<1%
Monóxido de carbono	396,00	-	-	-	-	396,00	396,00	396,00	203,00	203,00
Cloro	-	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	198,00	4,64	4,64
Tetracloruro de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	<1%	<1%
Fosgeno	-	-	-	-	-	-	-	-	193,29	193,29
Glicerol	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1.9: Balance de materia del proyecto (parte 2 de 4)

Corriente	11	12	13	14	15	16	17	18
Temperatura (°C)	150,00	18,50	18,50	23,98	18,50	18,50	23,22	23,22
Presión (bar)	4,14	4,14	4,14	2,00	3,12	3,12	2,00	2,00
Densidad (kg/m ³)	4,95	4,95	4,95	2,27	1357,00	1357,00	2,34	2,34
Viscosidad (cP)	$1,789 \cdot 10^{-2}$	$1,789 \cdot 10^{-2}$	$1,789 \cdot 10^{-2}$	$1,813 \cdot 10^{-2}$	0,5189	0,5189	$1,808 \cdot 10^{-2}$	$1,808 \cdot 10^{-2}$
Fase	Gas	Gas	Gas	Gas	Líquida	Líquida	Gas	Gas
Caudal total (kmol/h)	207,80	207,80	207,80	203,00	194,20	194,20	206,50	203,00
Caudal total (m³/h)	21,26	7,11	7,11	7,11	13,93	13,93	7,11	7,11
Caudal molar por componentes (kmol/h)								
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	-	-	-	-	-	-	-	-
Dióxido de carbono	<1%	<1%	<1%	<1%	-	-	-	-
Monóxido de carbono	203,00	203,00	203,00	203,00	<1%	<1%	202,74	203,00
Cloro	4,64	4,64	4,64	4,64	<1%	<1%	3,80	3,80
Tetracloruro de carbono	<1%	<1%	<1%	-	-	-	-	-
Fosgeno	193,29	<1%	<1%	-	193,29	193,29	-	-
Glicerol	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 1.9: Balance de materia del proyecto (parte 3 de 4)

Corriente	19	*20	21	22	23	24	25	26
Temperatura (°C)	25,00	19,77	80,00	22,00	80,00	22,00	80,00	50,00
Presión (bar)	2,00	4,00	4,56	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Densidad (kg/m ³)	1291,00	1287,00	909,3	967,40	909,30	967,40	909,30	939,70
Viscosidad (cP)	810,70	1032,00	0,35	0,95	0,35	0,95	0,35	0,35
Fase	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida
Caudal total (kmol/h)	70,58	71,83	498,00	4779,00	2867,00	4779,00	2867,00	580,40
Caudal total (m³/h)	5,11	5,11	8,98	95,27	51,77	95,27	51,77	10,48
Caudal molar por componentes (kmol/h)								
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	-	-	498,00	4779,90	2867,00	4779,00	2867,00	580,40
Dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-
Monóxido de carbono	-	0,31	-	-	-	-	-	-
Cloro	-	0,94	-	-	-	-	-	-
Tetracloruro de carbono	-	<1%	-	-	-	-	-	-
Fosgeno	-	<1%	-	-	-	-	-	-
Glicerol	70,58	70,58	-	-	-	-	-	-

* Del corriente 20 al 30 son las líneas de proceso de entrada/salida de servicios refrigeración.

Tabla 1.9: Balance de materia del proyecto (parte 4 de 4)

Corriente	27	28	29	30*	31*	32	33	34	35*
Temperatura (°C)	80,00	50,00	17,00	80,00	59,70	50,27	40,87	31,41	22,00
Presión (bar)	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00
Densidad (kg/m3)	909,30	931,80	972,20	898,90	930,00	939,50	048,90	958,20	958,20
Viscosidad (cP)	0,35	0,55	1,08	0,35	0,47	0,54	0,64	0,77	0,77
Fase	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida	Líquida
Caudal total (kmol/h)	1332,00	1332,00	498,00	1005,00	5277,00	5277,00	5277,00	5277,00	498,00
Caudal total (m3/h)	24,04	24,04	95,27	18,15	95,27	95,27	95,27	95,27	95,27
Caudal molar por componentes (kmol/h)									
Aire	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Agua	1332,00	1332,00	498,00	1005,00	5277,00	5277,00	5277,00	5277,00	489,00
Dióxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Monóxido de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cloro	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetracloruro de carbono	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosgeno	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Glicerol	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* Del corriente 31 al 35 son las líneas de proceso de entrada/salida de cada torre de refrigeración.

1.5. Necesidades de servicio de plana

Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta de producción de fosgeno, es necesario disponer de una serie de servicios auxiliares esenciales para su operación segura y eficiente.

Los principales servicios de planta que se utilizarán incluyen energía eléctrica, gas natural, sistemas de alcantarillado, suministro de agua para refrigeración y contra incendios, así como el uso de terreno resistente para la infraestructura, así como otros importantes para dicha planta.

Estos servicios permiten mantener las condiciones operativas adecuadas y garantizan la seguridad tanto del personal como de los equipos.

1.5.1. Energía eléctrica

La planta de producción de fosgeno requiere una fuente de energía eléctrica constante y fiable para operar los equipos críticos, incluyendo los sistemas de control, compresores, ventiladores, bombas de recirculación, sistemas de refrigeración y el control de la automatización del proceso.

La conexión eléctrica se realiza desde una línea de 20 kV ubicada a pie de parcela. Dado que las necesidades de la planta pueden variar según el tamaño y los equipos específicos, se ha previsto la instalación de una estación transformadora para adaptar la tensión a los niveles requeridos por los equipos de planta. Este espacio ya está delimitado en el plano de la parcela de la planta.

1.5.2. Alcantarillado

La gestión adecuada de los efluentes líquidos generados durante el proceso de producción es fundamental para evitar impactos ambientales negativos. La planta cuenta con una conexión a la red de alcantarillado unitaria, ubicada en el centro de la calle, a una profundidad de 3,5 metros, con un diámetro del colector de 800mm.

Este sistema permitirá evacuar de manera segura los desechos líquidos de la planta, incluyendo efluentes de los procesos de purificación de gases y de limpieza de equipos, tras ser tratados para cumplir con las normativas ambientales.

1.5.3. Gas natural

En la planta de producción, el gas natural tiene un papel clave dentro de los equipos de generación de calor. El gas natural se utiliza principalmente para alimentar las calderas de vapor, las cuales suministran el calor necesario para diversas operaciones críticas de la planta, como el calentamiento de los reactores, mixer y evaporador.

Para garantizar un suministro estable y confiable de gas natural, se ha seleccionado a Endesa como la empresa proveedora, asegurando tanto el suministro de electricidad como de gas desde esta compañía. Esto permite una gestión centralizada de los recursos energéticos de la planta. La planta opera bajo la tarifa RLTB.5, que es adecuada para instalaciones de alto consumo energético.

Esta tarifa ofrece ventajas como una presión de entrada de gas a la planta de hasta 4 bares, lo cual es suficiente para alimentar los reactores y otros sistemas que utilizan gas natural. Además, al tratarse de una tarifa fija, el precio del gas no fluctúa con el mercado, lo que proporciona estabilidad en los costos operativos y facilita la planificación financiera de la planta.

1.5.4. Agua

1.5.4.1. Agua de red

El suministro de agua de red es fundamental para diversos aspectos del proceso de producción de fosgeno. Esta agua se utilizará para la operación de los sistemas de refrigeración, limpieza de equipos y otras necesidades generales de la planta. El suministro de agua de red está proveído por la empresa Ematsa y ubicada a pie de parcela con una presión de 4 kg/cm² y un diámetro de 200 mm, lo que asegura el caudal necesario para las diferentes operaciones de la planta.

1.5.4.2. Agua de refrigeración

En la producción de fosgeno, la refrigeración es un factor clave, ya que la reacción entre monóxido de carbono y cloro es altamente exotérmica. Para mantener la seguridad operativa y evitar sobrecalentamientos en el reactor multitubular, es necesario contar con un sistema de enfriamiento adecuado. Esto se logra mediante torres de refrigeración en serie que requieren un suministro constante de agua de refrigeración.

El agua utilizada en estos sistemas debe ser de buena calidad para evitar incrustaciones o corrosión que afecten el rendimiento de los equipos de IsoNova. En la planta, se utiliza a la recirculación de agua desionizada, lo que optimiza el uso de este recurso.

1.5.4.3 Vapor de agua condensado

El vapor de agua será generado en calderas industriales ubicadas en la zona de servicios de la planta. Estas calderas requieren un suministro constante de agua tratada, descalcificada y desionizada para evitar la formación de incrustaciones y asegurar un funcionamiento eficiente y prolongado.

Una vez que el vapor ha transferido su calor, se convierte en agua condensada, la cual se recupera y reutiliza dentro del sistema de generación de vapor. Este proceso de recuperación de condensado no solo reduce el consumo de agua fresca, sino que también mejora la eficiencia energética de la planta, al reducir la cantidad de energía necesaria para calentar nuevamente el agua.

1.5.4.4. Agua contra incendios

Dada la peligrosidad del fosgeno, es esencial contar con sistemas avanzados de protección contra incendios. El suministro de agua contra incendios proviene de una acometida con una presión máxima de 4 kg/cm².

Para garantizar un abastecimiento adecuado en caso de emergencia, es necesario diseñar una estación de bombeo y una reserva de agua específica para combatir posibles incendios. Además, los sistemas contra incendios deberán ser probados y mantenidos regularmente para asegurar su funcionamiento eficiente en caso de un incidente.

1.5.4.5. Aire comprimido

El suministro de aire comprimido es esencial para la planta, ya que se utilizará tanto para las válvulas neumáticas como para los sistemas de limpieza y control del proceso. El aire se generará mediante compresores ubicados en la zona de servicios, que proporcionarán aire a una presión de 6-8 bares.

El aire se tratará con filtros para eliminar partículas, humedad y aceites, garantizando su calidad para no formar incrustaciones que impidan el correcto proceso. La red de tuberías distribuye el aire comprimido a las áreas necesarias.

1.5.4.6. Terreno

La planta se construirá sobre un terreno con una resistencia de 2 kg/cm² a una profundidad de 1,5 metros sobre grava. Esta capacidad del terreno es suficiente para soportar los equipos e infraestructuras necesarias, incluidos los reactores y los demás equipos de proceso. La estabilidad del terreno es fundamental para evitar desplazamientos o hundimientos que puedan comprometer la seguridad estructural de la planta.

1.6. Constitución de la planta

La planta de producción de fosgeno es una instalación compleja que está cuidadosamente organizada en diferentes secciones, cada una dedicada a tareas específicas y esenciales para el correcto funcionamiento de toda la operación.

Estas áreas cumplen un rol fundamental para garantizar que el proceso de fabricación de fosgeno se realice de manera eficiente, cumpliendo con los más altos estándares de seguridad, calidad y normativas ambientales.

En la *Tabla 1.10.*, se pueden ver detalladamente todas las áreas que forman parte de la planta.

Tabla 1.10: Áreas de la planta IsoNova

Zona	Definición
A-100	Entrada reactivos, evaporador y caldera
A-200	Mixer
A-300	Reacción
A-400	Refrigeración
A-500	Condensación
A-600	Tratamiento de gases
A-700	Sala de control

A-800	Grupos electrógenos
A-900	Compresores y purificación del aire
A-1000	Zona de carga y descarga
A-1100	Aparcamientos
A-1200	Laboratorio
A-1300	Oficinas
A-1400	Vestuarios

Así pues, tal y como se puede comprobar, se diferencian las áreas por zonas de producción (A-100, A-200, A-300, A-400, A-500, A-600), zonas de soporte y mantenimiento (A-700, A-800, A-900) y zonas para el personal (A-1000, A-1100, A-1200, A-1300, A-1400).

1.7. Plantilla de trabajadores

En IsoNova, aparte del proceso e instalaciones de la planta de producción, es importante tener una plantilla de trabajadores eficiente para poder llevar a cabo correctamente el proceso de producción en la planta y todo lo que conlleva la empresa.

Es por eso por lo que en la siguiente *Tabla 1.11.* se mostrará el puesto de empleo y cuántas vacantes son necesarias.

Tabla 1.11: Plantilla de trabajadores y puestos de IsoNova

Departamento	Puesto de trabajo	Personal
Dirección	Director	1
Ingeniería	Ingeniero de planta	1
	Técnicos de proceso	4
I+D	Encargado de departamento	1
	Técnicos	5
Producción	Encargado de planta	1
	Operarios de planta	30
Mantenimiento	Encargado de mantenimiento	1
	Mecánicos	14
Limpieza	Empleados de la limpieza	2
Calidad	Encargado de departamento	1

	Técnicos de laboratorio	5
Seguridad y medio ambiente	Encargado de departamento	1
	Operarios	2
Recursos humanos	Encargada de RRHH	1
	Personal de RRHH	4
Administración	Encargado de departamento	1
	Técnicos administrativos	4
Finanzas	Encargado de departamento	1
	Comerciales y técnicos de finanzas	4

1.8. Planificación temporal

La planificación temporal de la planta es fundamental para coordinar todas las etapas del proyecto, desde la fase de diseño hasta la puesta en marcha.

Este plan establece los tiempos necesarios para la construcción de infraestructuras, la instalación de equipos, la conexión de servicios esenciales y la realización de pruebas previas a la operación con su debida duración plasmada en la *Tabla 1.12*.

Tabla 1.12. Planificación temporal de la construcción de la planta

Nº tarea	Tarea	Duración(días)	Precedencia
1	Ingeniería del proyecto	120	0:1
2	Obtención de licencia	140	0:2
3	Demanda de equipos	140	1:3
4	Limpieza de terrenos	30	2:4
5	Excavaciones y cimentación	60	1,4:5
6	Instalación de suministros	30	1,5:6
7	Viales y aceras	40	5:6
8	Aparcamiento (A-1100)	20	1,5:8

9	Construcción de oficinas y laboratorios (A-1200, A-1300)	120	1,3,5,6:9
10	Construcción de vestuarios hombre/mujer (A-1400)	30	1,3,5,6:10
11	Instalación de soportes, puertas, escaleras, ascensores	30	1,6:11
12	Área 100	110	1,3,5,6:12
13	Área 200	120	1,3,5,6:13
14	Área 300	120	1,3,5,6:14
15	Área 400	80	1,3,5,6:15
16	Área 500	80	1,3,5,6:16
17	Área 600	120	1,3,5,6:17
18	Área 700	30	1,3,5,6:18
19	Área 900	100	1,3,5,6:19
20	Área 900	30	1,3,5,6:20
21	Área 1000	40	1,3,5,6:21

22	Instalación de tuberías de planta	60	12-21:22
23	Conexión de tuberías con el proceso	30	22:23
24	Instalación tuberías de servicios	60	19:24
25	Conexión de tuberías con los servicios y el proceso	30	24:25
26	Instalación de instrumentación y control de equipos	80	23,25:26
27	Conexión de instrumentación y control de equipos	30	26:27
28	Instalación de sistema eléctrico	80	9:28
29	Calibrage de los equipos	40	26:29
30	Aislamiento de tuberías	30	22,29:30
31	Ensayo de equipos	30	28:31
32	Pintura	30	31:32
33	Limpieza	30	32:33

1.9 Bibliografía

[1] Chemical Safety Facts. (2023). *Phosgene*.

<https://es.chemicalsafetyfacts.org/chemicals/phosgene/>

[2] GEIIC. (1994). *Tetracloruro de carbono: Ficha técnica*.

<https://www.ge-iic.com/fichas-tecnicas/disolventes/tetracloruro-de-carbono/>

[3] Google Maps. (n.d.). *Tarragona*.

<https://www.google.com/maps/place/Tarragona/@41.1258048,1.2385835,13z/data=!3m1!4b1>

[4] Idescat. (2024). *Tarragona. Indicadors Municipals*.

<https://www.idescat.cat/emex/?id=431482>

[5] Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo (INSST). (2018). *Directrices para la exposición profesional a agentes químicos (DLEP 25)*.

<https://www.insst.es/documents/94886/290254/DLEP+25.pdf>

[6] ILO Chemicals Safety Cards. (2013). *Tetracloruro de carbono*.

https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_lang=es&p_card_id=0007&p_version=2

[7] Meteoblue. (2024). *Historial climático y clima modelado de Tarragona*.

https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/tarragona_es_paña_3108288

[8] PRTR España. (2023). *CO: Monóxido de carbono*

<https://prtr-es.es/CO-Monoxido-de-carbono,15589,11,2007.html>

[9] PRTR España. (2023). *CO₂: Dióxido de carbono*.

<https://prtr-es.es/co2-dioxido-de-carbono,15590,11,2007.html>

[10] Sin autor. (n.d.). *Objecte del Projecte 2024-SEPT* [Archivo PDF].

[11] Sin autor. (n.d.). *Phosgene* [Archivo PDF].

[12] Sin autor. (2018). *BA_3_report_final_03072018* [Archivo PDF].

[13] Va de Química. (2022). *Carbón activado*.

<https://www.vadequimica.com/blog/todos-los-articulos/carbon-activado.html>

[14] WeatherSpark. (2024). *Clima promedio en Tarragona, España durante todo el año*.

<https://es.weatherspark.com/y/45958/Clima-promedio-en-Tarragona-España-durante-todo-el-año>

[15] Wikipedia. (n.d.). *Fosgeno*.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Fosgeno>

[16] Wikipedia. (n.d.). *Tarragona*.

<https://es.wikipedia.org/wiki/Tarragona>