

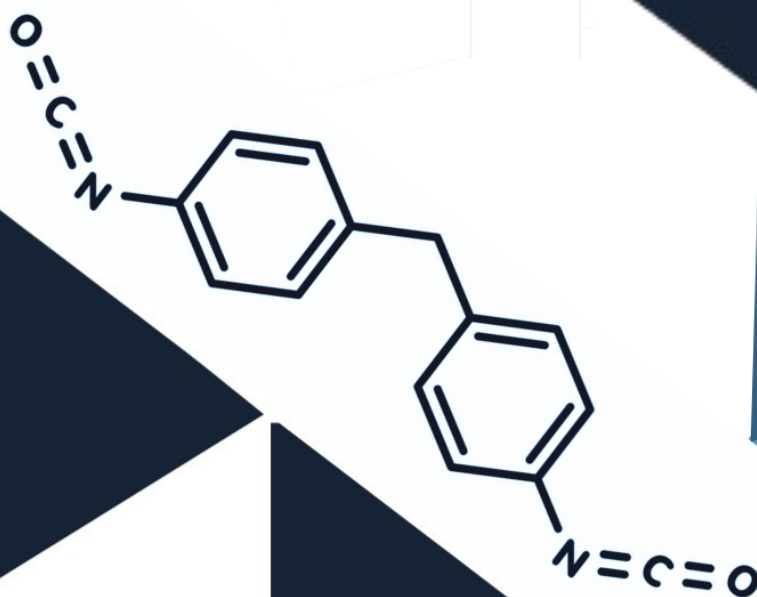
PLANTA DE PRODUCCIÓ D'MDI

*Treball de Final de Grau
Enginyeria química*

Marc Vidal Ortega
Albert Guiteras Candelas
Bernat Baños Pizà
Daniel Moyano Estaún
Mario Vega Pérez
Júlia Gómez López

Tutor: Rafael Bosch Palacios

Juny 2025



UAB
Universitat
Autònoma
de Barcelona

Escola
d'Enginyeria

Chemcorp

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'MDI

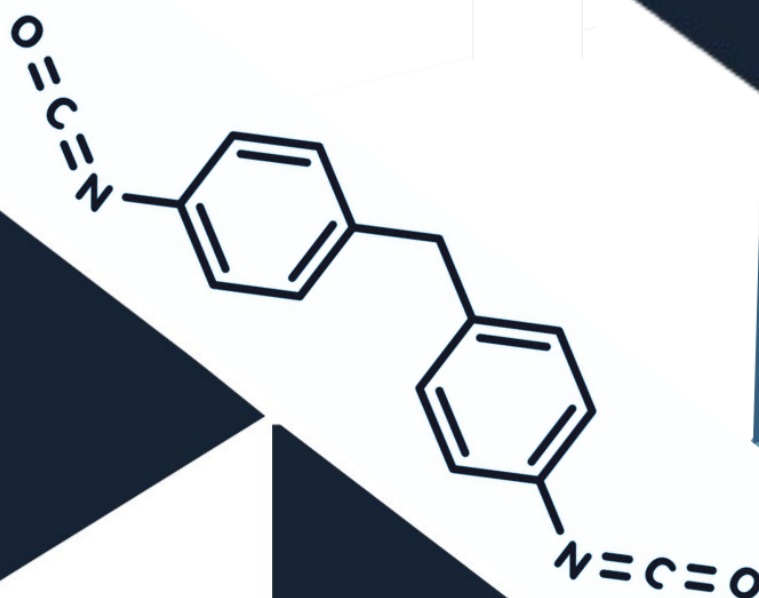
*Treball de Final de Grau
Enginyeria química*

CAPÍTOL 1 - ESPECIFICACIONS

Marc Vidal Ortega
Albert Guiteras Candelas
Bernat Baños Pizà
Daniel Moyano Estaún
Mario Vega Pérez
Júlia Gómez López

Tutor: Rafael Bosch Palacios

Juny 2025



Taula de continguts

Taula de continguts	3
1. Especificacions.....	4
1.1 Definició del projecte	4
1.1.1 Bases del projecte	4
1.1.2 Abast del projecte	5
1.1.3 Localització de la planta	6
1.2 Procés de producció d'MDI	13
1.2.1 Mètode d'obtenció i selecció de procés.....	13
1.2.2 Característiques dels compostos implicats en el procés	15
1.2.3 Diagrama de blocs	22
1.2.4 Diagrama de flux de procés.....	23
1.2.5 Balanç de matèria i comprovació	24
1.3 Especificacions i necessitats dels serveis de planta	29
1.3.1 Aigua de xarxa	29
1.3.2 Protecció contra incendis	30
1.3.3 Oli tèrmic.....	30
1.3.4 Nitrogen.....	30
1.3.5 Aire comprimit.....	31
1.3.6 Electricitat i estació transformadora	31
1.4 Constitució de la planta.....	31
1.4.1 Emmagatzematge (A-000)	32
1.4.2 Pretractament (A-100).....	33
1.4.3 Reacció (A-200).....	33
1.4.4 Separació HCl (A-300).....	34
1.4.5 Purificació MDI (A-400)	34
1.4.6 Emmagatzematge MDI (A-500)	35
1.4.7 Gestió externa i medi ambient (A-700)	35
1.4.8 Altres àrees de ChemCorp.....	35
1.5 Planificació temporal.....	37
1.6 Bibliografia.....	39

1. Especificacions

El present capítol recull les especificacions tècniques i contextuais que defineixen i estructuren el projecte de ChemCorp. S'hi descriuen l'objecte del projecte, la seva contextualització i el conjunt de condicions que determinen el seu disseny i implantació.

En primer lloc, es desenvolupa de manera detallada la descripció i les bases del projecte, així com l'abast funcional i operatiu de la planta. També s'especifiquen la localització de la instal·lació i els seus condicionants físics, urbanístics i logístics associats, incloent-hi l'accessibilitat per via terrestre, aèria, ferroviària i marítima, així com les condicions climàtiques de l'entorn.

A continuació, es descriu el procés de producció, així com el mètode d'obtenció, la selecció del procés i les característiques fisicoquímiques dels compostos implicats, incloent-hi inerts, reactius, intermedis i productes finals. Seguidament, es presenta una descripció exhaustiva del procés de fabricació, presentant els diagrames de blocs i flux de procés, el balanç de matèria i la seva comprovació.

Finalment, es recullen les especificacions i necessitats dels serveis de planta i la constitució general de la instal·lació. Aquest conjunt d'elements constitueixen el marc tècnic inicial del projecte i proporcionen el context necessari per entendre les decisions de disseny i operació industrial que es desenvolupen en els capítols posteriors.

1.1 Definició del projecte

L'objecte principal del projecte és el disseny integral d'una planta industrial per a la producció en continu de diisocianat de difenilmetanà (MDI), utilitzant com a matèries primeres la metildianilina (MDA) i el foscè.

ChemCorp és l'empresa responsable encarregada del disseny i desenvolupament d'aquesta instal·lació amb localització geogràfica fictícia al Polígon Industrial 'SATÈL·LITS', dins del terme municipal de Tarragona, concretament al Pol Petroquímic.

Es realitza un estudi de la viabilitat global del projecte, que abasta els aspectes econòmics, socials, ambientals i operatius en la construcció i operació de la planta. Per garantir el compliment dels estàndards de disseny, la producció es desenvolupa d'acord amb la normativa vigent, tant urbanística com sectorial, amb especial atenció a aquelles normatives referides al medi ambient, la seguretat dels treballadors, la higiene industrial i a la protecció contra incendis i explosions.

El disseny ha de garantir un funcionament òptim i una gestió eficient dels recursos, assegurant la sostenibilitat del procés, la minimització de riscos i impactes ambientals, així com el reaprofitament de subproductes generats durant el procés productiu, sigui per reutilització interna o per a la seva gestió en instal·lacions externes especialitzades.

1.1.1 Bases del projecte

Les especificacions requerides pel disseny de la planta industrial es recullen a continuació.

- Capacitat de producció: 200.000 tones a l'any d'MDI en estat líquid. No s'especifica una puresa concreta del producte, tot i això, els valors típics d'MDI pur oscil·len al voltant del 99% de diisocianat de 4,4'-difenilmetà [3,4].
- Presentació del producte final: L'MDI es comercialitza en fase líquida mitjançant camions cisterna refrigerats de 20 tones.
- Operació de la planta: La planta està dissenyada per operar durant 335 dies a l'any. S'efectuen tres aturades programades anuals per a tasques de manteniment que es distribueixen en períodes de deu dies a l'abril, l'agost i el desembre.

1.1.2 Abast del projecte

El projecte de la planta industrial de ChemCorp contempla el desenvolupament integral de totes les àrees tècniques, logístiques i operatives necessàries per garantir la viabilitat global (tècnica, econòmica, social i mediambiental) de la instal·lació. A continuació, es detallen els aspectes principals abordats al llarg de la memòria, els quals permeten dur a terme un anàlisi de viabilitat completa del projecte.

- Disseny i especificació de les unitats d'emmagatzematge, tant de matèries primeres com de producte acabat, i de l'estació de càrrega i descàrrega.
- Disseny i especificació tècnica de les unitats i equips de procés i reacció per a la síntesi i purificació del producte final.
- Disseny i definició del sistema de control, instrumentació i automatismes, amb programació dels llaços de control necessaris per el monitoratge i operació òptima de la planta.
- Disseny i especificació de la xarxa de canonades, vàlvules, bombes i accessoris.
- Estudi de seguretat i higiene industrial, mitjançant l'aplicació de la metodologia HAZOP i l'anàlisi de riscos associat. Es presenta també el llistat complet de les fitxes de seguretat dels reactius i productes implicats en el procés.
- Avaluació de l'impacte ambiental, considerant emissions gasoses, efluent líquids i residus sòlids, així com les mesures adoptades per minimitzar aquestes emissions i garantir el compliment de la normativa.
- Estudi de la viabilitat econòmica del projecte, incloent-hi estudi de mercat, despeses associades a la implantació i operació de la planta i anàlisi de rendibilitat.
- Elaboració del protocol de posada en marxa, operació i aturades del procés.
- Redacció del manual de càlcul, on es detallen els criteris i equacions aplicades.

- Dimensionament i distribució de les àrees de serveis necessàries, així com la distribució funcional d'oficines, laboratoris, vestuaris i altres zones de suport.
- Dimensionament i distribució de les àrees auxiliars, com pàrquings, sistemes de control d'accessos, xarxes contra incendis, i sistemes de depuració d'aigües i emissions gasoses.
- Dimensionament global de la planta, amb representació gràfica mitjançant plànols generals i diagrames de procés (P&ID), que integrin les unitats de producció, purificació, serveis i logística.

1.1.3 Localització de la planta

La planta del projecte s'ubicarà en una parcel·la fictícia al polígon industrial "SATÈL·LITS", situat al Pol Petroquímic, el qual forma part de la comarca del Tarragonès, a la província de Tarragona (Catalunya, Espanya). En concret, la parcel·la queda delimitada pel carrer Europa i Titán.

El Complex Petroquímic de Tarragona constitueix una de les concentracions industrials més rellevants del sector químic i petroquímic a escala estatal [2]. Es localitza principalment a la zona de ponent del municipi de Tarragona, concretament a l'àrea coneguda com a zona Trebol, i s'estén pels termes municipals de la Canonja i Vila-seca. També té presència, encara que més reduïda, als municipis de Reus, Salou, Constantí, el Morell i la Pobla de Mafumet.

El municipi de Tarragona disposa d'una superfície total de 57,89 km² i una densitat de població de 2.436 habitants per km², amb una població estimada de 141.018 habitants el 2024. La parcel·la es troba a aproximadament 90 km al sud-oest de Barcelona i 3 km del centre de Tarragona [7].

Seguidament, a la Figura 1.1, es mostra la ubicació de la comarca del Tarragonès a Catalunya, a l'esquerra, i la ubicació del municipi de Tarragona dins la comarca del Tarragonès, a la dreta.

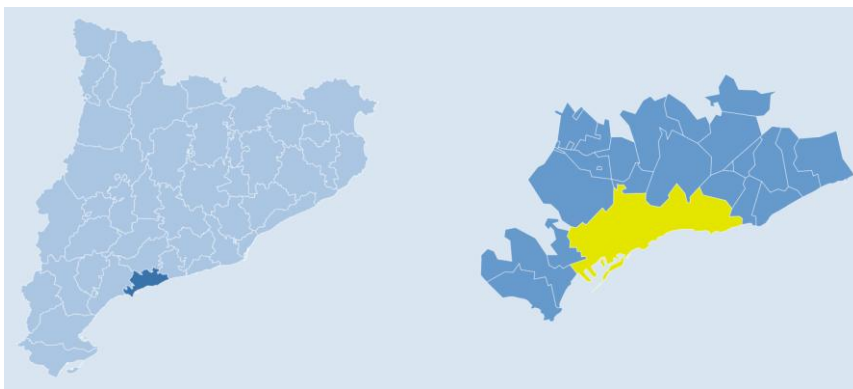


Figura 1.1 – Ubicació del municipi de Tarragona dins de la comarca del Tarragonès (dreta) i de la comarca dins de Catalunya (esquerra)

Més concretament, a la Figura 1.2, es mostra la ubicació del complex petroquímic de Tarragona, on es portarà a terme el disseny de la planta industrial.

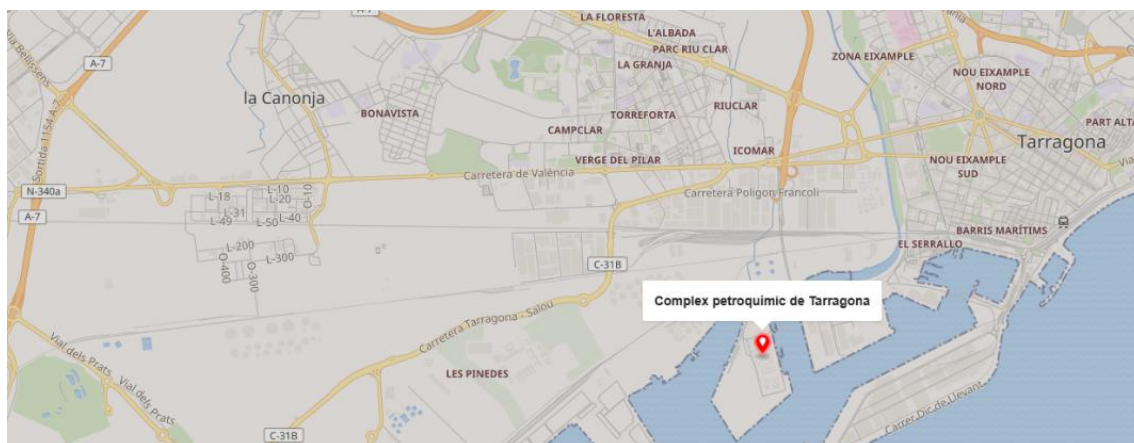


Figura 1.2 – Localització de la planta industrial dins del complex petroquímic

1.1.3.1 Paràmetres d'edificació, serveis disponibles i plànol de la parcel·la

El projecte contempla el disseny i la construcció dels edificis i estructures necessaris per allotjar els equips principals del procés, com ara torres de destil·lació, tancs d'emmagatzematge, reactors, així com les àrees de serveis i instal·lacions auxiliars corresponents.

L'edificació de la planta industrial de ChemCorp s'ubica dins del Polígon Industrial 'SATÈL·LITS' que es regeix per una normativa urbanística específica i uns paràmetres d'edificació que es detallen a continuació a la Taula 1.1.

Taula 1.1 – Paràmetres d'edificació al Polígon Industrial SATÈL·LITS

Edificabilitat	1,5 m ² sostre per m ² de sòl
Ocupació màxima de la parcel·la	75%
Ocupació mínima de la parcel·la	20% de la superfície d'ocupació màxima
Retranquejos	5m respecta a vials i veïns
Màxima Alçada	16 m i 3 plantes (excepte en producció justificant la necessitat del procés)
Mínima Alçada	4m i 1 planta
Aparcaments	1 plaça/150m ² construïts
Distància entre els edificis	1/3 de l'edifici més alt, amb un mínim de 5m

Els serveis disponibles a la planta ChemCorp són equivalents als de la resta d'instal·lacions ubicades al polígon industrial. A la Taula 1.2 es recullen les principals característiques dels serveis disponibles.

Taula 1.2 – Serveis disponibles a la planta ChemCorp

Energia elèctrica	Connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la, cal preveure una estació transformadora (espai ja delimitat en el plànol)
-------------------	---

Gas natural	Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm ²)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m (diàmetre del col·lector de 800 mm)
Aigua d'incendis	La màxima pressió és de 4kg/cm ² , cal dissenyar una estació de bombament i reserva d'aigua
Aigua de xarxa	Escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm ² amb una canonada de diàmetre de 200 mm
Terreny	Resistència del terreny de 2 kg/cm ² a 1,5 m de profunditat sobre graves

La superfície total de la parcel·la assignada a la planta de producció de ChemCorp és de 16.825 m², però tenint en compte els 5.475 m² destinats a zones comunes i una zona auxiliar de 2.117 m², la superfície total considerada és de 24.417 m². Segons els paràmetres d'edificació recollits a la Taula 1.1, l'ocupació màxima permesa és de 18.312,75 m², i l'ocupació mínima és de 4.883,4 m².

Pel desenvolupament de la planta es preveu una ocupació construïda de 18.312,75 m², la qual representa un 75 % de la superfície total de la parcel·la.

Finalment, a la Figura 1.3, es presenta el plànol de la parcel·la, on s'observa la distribució de l'espai i la superfície assignada a la planta de producció d'MDI.

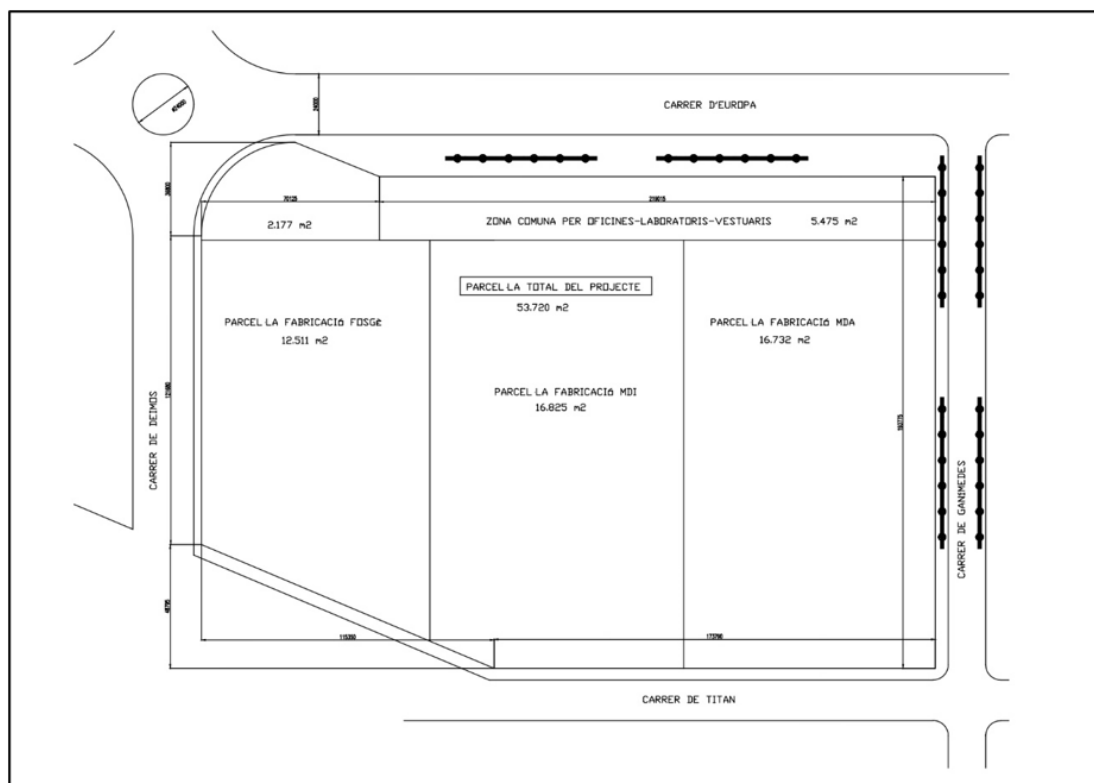


Figura 1.3 – Plànol de la parcel·la

1.1.3.2 Comunicacions i accessibilitat de la planta

La comunicació i accessibilitat de la planta són factors essencials per optimitzar-ne el rendiment i garantir-ne un funcionament eficient. Per aquest motiu, s'estudia la ubicació geogràfica de la planta.

Una correcta accessibilitat facilita tant la recepció de matèries primeres com la distribució dels productes finals, fet que permet ampliar la xarxa de proveïdors i clients, i d'aquesta manera s'afavoreix el creixement empresarial. En aquest context, a continuació es presenta un anàlisi de les principals infraestructures de comunicació i mitjans de transport disponibles a la província de Tarragona i més concretament en el Pol Petroquímic.

Comunicació viària

Tarragona disposa d'una excel·lent xarxa de carreteres i autopistes que la connecta amb les principals àrees econòmiques i comercials d'Espanya i Europa.

A la Figura 1.4 es pot observar la distribució de les principals vies terrestres d'accés:

- N-240: Carretera estatal que comunica Tarragona amb Bilbao, passant per ciutats com Pamplona, Vitòria, Lleida i Osca, amb un recorregut total aproximat de 550 km.
- N-340: Carretera costanera que connecta Tarragona amb Barcelona, Castelló i Cadis, amb una longitud de 1.200 km.
- N-420: Carretera que travessa el centre de la península i enllaça Tarragona amb Còrdova, creuant comunitats com Andalusia, Aragó, la Comunitat Valenciana i Castella – la Manxa.
- AP-7: Autopista que comunica tota la costa mediterrània espanyola, té 1000 quilòmetres de recorregut des de La Jonquera fins a Cadis.
- A-7. Autovia del Mediterrani que uneix Algeciras amb Barcelona, segueix una ruta molt similar que la AP-7.
- T-11. Autovia que enllaça Tarragona amb Reus i facilita l'accés a la AP-7 i altres vies principals.



Figura 1.4 – Vies terrestres al voltant de Tarragona [1]

Comunicació aèria

Tarragona té dos aeroports a prop seu, el primer, l'aeroport internacional de Reus situat a 11 quilòmetres seguint la ruta de l'AP-7 i T-11. El segon és l'aeroport El Prat-Barcelona situat a 90 quilòmetres de distància, el que equival a una hora amb cotxe.

El complex aeri de Reus permet aproximadament unes 23 connexions amb 7 països d'Europa, com per exemple, Alemanya, Irlanda, Regne Unit, Bèlgica, entre d'altres. En canvi, l'aeroport de Barcelona disposa de més de 170 rutes operatives i unes 70 companyies de vol diferents. A continuació, s'adjunten les figures Figura 1.5 i Figura 1.6 que mostren les rutes aèries de l'aeroport de Reus i Barcelona respectivament.



Figura 1.5 – Rutes aèries de l'aeroport de Reus.

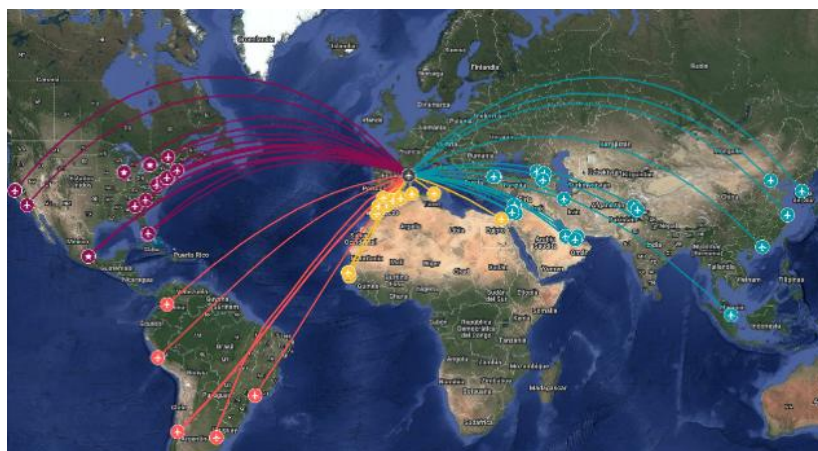


Figura 1.6 – Rutes aèries de l'aeroport de Barcelona [11]

Degut a la proximitat d'aquests complexos, ChemCorp pot exportar i importar productes a un ventall de països molt ampli.

Comunicació ferroviària

La província de Tarragona disposa de dues estacions ferroviàries principals que la connecten amb diverses destinacions tant nacionals com internacionals. La primera estació, ubicada al centre de la ciutat, ofereix serveis de mitja i llarga distància, com per exemple els trens Euromed, així com línies de rodalies. Es troba situada a només 200 metres del port de Tarragona facilitant la connexió entre diferents vies de transport. La segona estació es troba a uns 10 quilòmetres del

centre de Tarragona i forma part de la xarxa AVE, amb connexions directes amb ciutats com Madrid i Barcelona.

A més, hi ha un projecte ferroviari en desenvolupament que té com a objectiu connectar la frontera francesa amb el sud de la península ibèrica, passant per altres països com Itàlia. Es preveu que Tarragona sigui un dels nodes principals d'aquesta futura xarxa europea.

A la Figura 1.7 es mostra la xarxa ferroviària principal, les rutes marcades en blau corresponen al transport de mercaderies, mentre que les de color vermell, representen les línies destinades al transport de viatgers.



Figura 1.7 – Xarxa ferroviària d'Espanya [8]

Comunicació marítima

La situació geogràfica de ChemCorp afavoreix una comunicació marítima altament eficient, degut a que el port de Barcelona es troba a aproximadament 100 quilòmetres de la planta. El transport marítim acostuma a ser una de les opcions més econòmiques per al moviment de grans volums de mercaderies, i facilita tant les exportacions com les importacions a nivell global. El port de Barcelona és un dels més importants de tot el mediterrani i permet fer exportacions i importacions a pràcticament tot el món, Europa, Àsia, Àfrica i Amèrica.

1.1.3.3 Climatologia

La zona on està situada la planta de ChemCorp presenta un clima mediterrani amb les següents característiques [10]:

- La temperatura anual mitja es troba entre 16 i 18°C, l'agost és el mes més calorós de l'any assolint temperatures màximes de 29°C, mentre que el gener és el mes més fred assolint una temperatura mitjana de 9°C. A continuació, a la Figura 1.8, es mostra l'evolució de la temperatura a Tarragona al llarg dels mesos de l'any, mitjana històrica entre els anys 2017 i 2025.

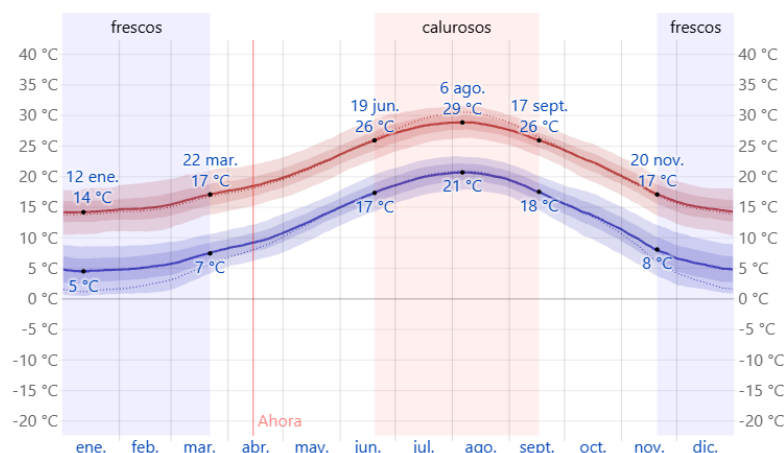


Figura 1.8 – Corba evolutiva de la Temperatura a Tarragona [10]

- La precipitació és d'uns 500-600 mm anuals on els màxims es presenten a la tardor i primavera. Seguidament, s'adjunta la Figura 1.9 on es mostra la distribució de les pluges a Tarragona al llarg dels mesos de l'any, mitjana històrica entre els anys 2017 i 2025.

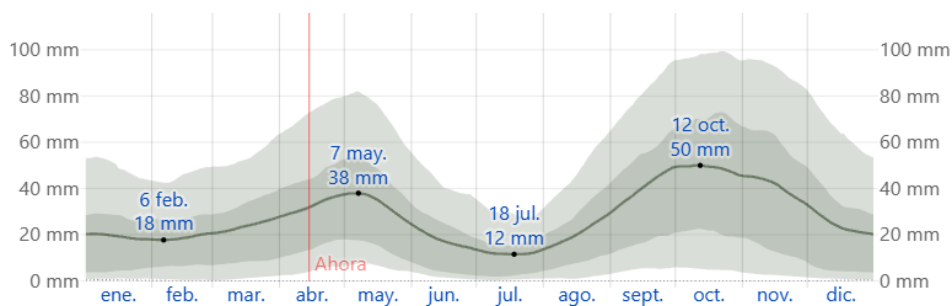


Figura 1.9 – Corba evolutiva de les precipitacions a Tarragona [10]

- Degut a la seva situació geogràfica molt propera al mar, el vent que es presenta a l'estiu és en direcció de mar cap a terra i a l'hivern és vent del nord-oest. La mitjana de les velocitats registrades del vent a Tarragona durant l'any 2017 i 2025 es mostren a continuació a la Figura 1.10.

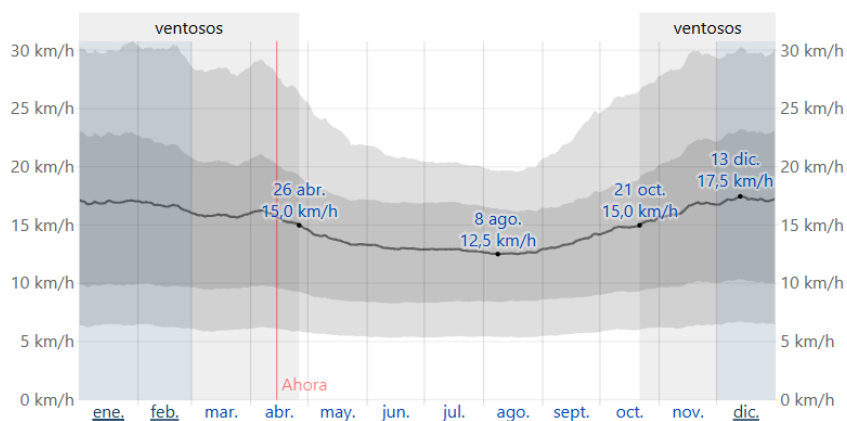


Figura 1.10 – Corba evolutiva de les velocitats del vent a Tarragona [10]

- La humitat relativa és moderada-alta, especialment l'època d'estiu. Els percentatge mitjà d'humitat durant l'històric de Tarragona entre els anys 2017 i 2025 es mostren a la Figura 1.11.

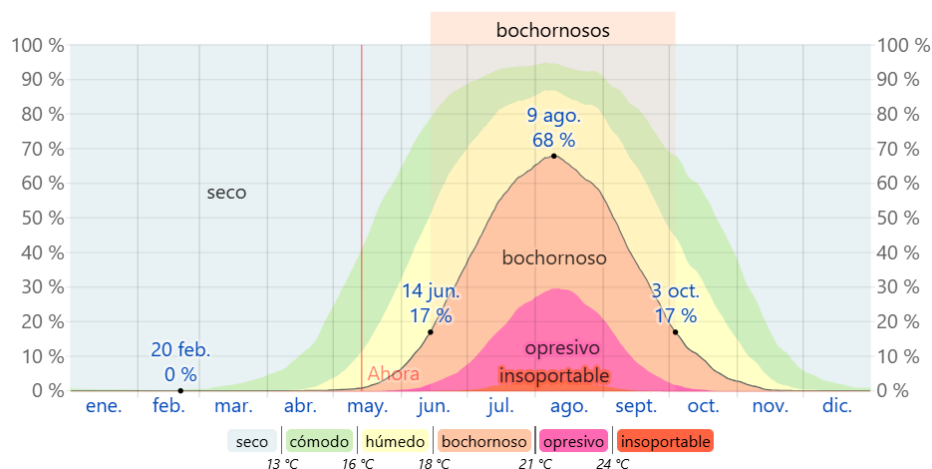


Figura 1.11 – Humitat anual a la província de Tarragona [10]

1.2 Procés de producció d'MDI

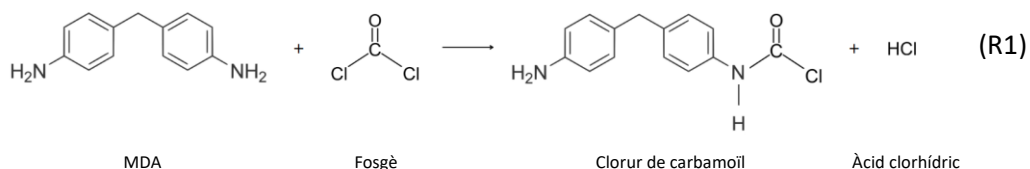
La producció d'MDI és un procés industrial fonamental en la fabricació de poliuretans, degut a la seva utilitat en una gran varietat de productes i a les seves múltiples aplicacions industrials. Aquest compost es sintetitza mitjançant la fosgenació de l'MDA, és un procés que comprèn diverses etapes consecutives, on es produeix la reacció controlada entre amines orgàniques i fosgè per a generar poliisocianats. A continuació, es descriuen detalladament el mètode d'obtenció i les condicions operatives del procés de producció de l'MDI implementat a les instal·lacions de ChemCorp.

1.2.1 Mètode d'obtenció i selecció de procés

El procés de síntesi industrial de l'MDI es divideix en tres etapes principals, basades en la fosgenació progressiva de l'MDA. Aquestes etapes impliquen una sèrie de reaccions amb condicions específiques de temperatura, pressió i temps de residència, que afavoreixen la formació de l'isocianat desitjat amb altes conversions i pocs subproductes.

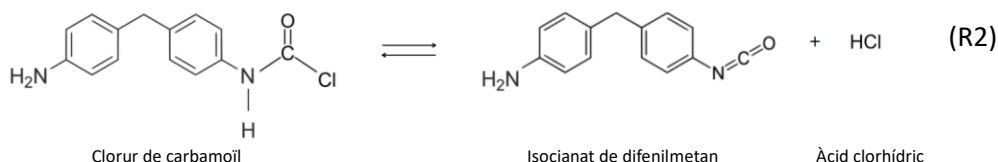
El mètode de procés que utilitza ChemCorp es basa en processos patentats per a la producció continua d'isocianats amb un alt rendiment espai-temps i una elevada eficiència en l'ús del fosgè [9]. En aquest procés, la reacció entre l'MDA i el fosgè es duu a terme en un seguit de tres etapes, tal i com s'ha comentat anteriorment, en un medi amb excés de fosgè. Segons la patent i procés escollits, totes les reaccions que es presenten a continuació es donen en fase líquida i en presència d'un dissolvent orgànic inert, el clorobenzè.

La primera etapa consisteix en la formació inicial de clorur de carbamoïl, representada a la reacció R1, on l'MDA reacciona amb el fosgè per donar lloc al clorur de carbamoïl, amb generació simultània d'àcid clorhídric.



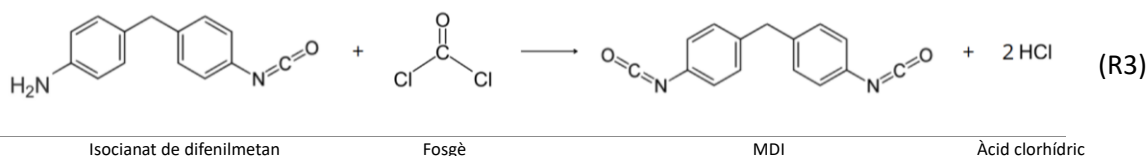
Aquesta reacció és exotèrmica i té lloc sota condicions de pressió relativament elevades, entre 2,5 i 35 bars, i en un rang de temperatures compreses entre 80 i 150 °C. El clorur de carbamoil generat a la R1 és un intermedi de reacció inestable, que es troba sota condicions d'elevada temperatura, i que es dissocia de manera espontània i endotèrmica a isocianat de difenilmetan. El disseny de la *boquilla* de mescla on es dona la reacció es duu a terme amb un temps de residència ajustat i reduït per intentar que la dissociació no es doni en aquesta primera etapa i es doni en la segona.

Durant la segona etapa, el clorur de carbamoil es dissocia en una reacció endotèrmica i reversible generant isocianat de difenilmetan i àcid clorhídric, representada a la reacció R2 a continuació.



Aquesta segona etapa es dona en un reactor continu de flux pistó (RCFP) adiabàtic ràpidament amb un temps de residència inferior 10 minuts. La pressió i la temperatura són variables crítiques de procés que s'han de mantenir constants i en valors elevats d'entre 3 i 10 bars de pressió i temperatures entre 90-150 °C per a que no es doni la reacció contrària i l'isocianat de difenilmetan reaccioni amb l'àcid clorhídric. A més, el flux ha de ser constant per evitar que l'isocianat s'acumuli dins del reactor i es doni la reacció inversa.

Finalment, durant la tercera etapa, l'isocianat de difenilmetan reacciona exotèrmicament amb excés de fosgè, produint l'isocianat (MDI) i alliberant àcid clorhídric, representada a la reacció R3.



Aquesta reacció es dona en un segon RCFP adiabàtic en sèrie a l'anterior amb un temps de residència de 2 a 7 minuts que opera a les següents condicions de pressió i temperatura, al voltant de 5-6 bars i a 90-150°C. La sortida del RCFP d'aquesta etapa entra en una columna de destil·lació flash i els corrents de vapor i líquid de sortida es sotmeten a un procés de purificació per extreure el producte final d'interès a la màxima puresa possible.

Aquest procés es caracteritza per una gestió acurada de la pressió entre etapes mitjançant vàlvules reguladores permetent una disminució progressiva de pressió des del reactor primari

fins al segon RCFP de reacció. Aquesta estratègia redueix la formació de subproductes i optimitza la recuperació del fosc no reaccionat, contribuint així a la seguretat i sostenibilitat del procés.

La temperatura en cada etapa es manté dins d'un rang optimitzat per evitar subproductes no desitjats i maximitzar la conversió. La diferència de pressió entre etapes assegura el flux continu del sistema i la separació eficient dels gasos generats, com l'àcid clorhídric.

Els reactors són modulars i equipats amb sistemes d'agitació, zones de gasificació, i mitjans per submergir les boquilles en solvents o fases líquides. Aquesta configuració permet una millor dissipació de calor i una eliminació més eficaç de l'HCl format.

El control precís de les condicions permet la millora del rendiment, minimització de residus, i facilita la utilització de dissolvents que poden ser reciclats posteriorment. El disseny contempla tant el balanç de matèria com la seguretat operativa davant el maneig de compostos tòxics com el fosc.

L'objectiu de la planta és extreure l'MDI amb puresa del 100%, per aquest motiu s'implementa un sistema de purificació format per una sèrie d'operacions de separació a través de diverses columnes de destil·lació de plats i flash en sèrie. Així mateix, també s'aconsegueix separar els components i productes de la reacció i recircular-los eficientment a l'inici del procés, permetent el reaprofitament de fosc, clorobenzè i àcid clorhídric.

1.2.2 Característiques dels compostos implicats en el procés

En aquest apartat es presenta una descripció general de les diferents substàncies químiques implicades en el procés d'obtenció de l'MDI, mencionades prèviament. L'objectiu és introduir les seves aplicacions, propietats i principals característiques. Les substàncies analitzades a continuació es classifiquen en quatre grups principals segons el seu paper en el procés: compostos inerts, reactius, intermedis de reacció i productes finals i les propietats presentades s'extreuen de les seves fitxes de seguretat exposades al Capítol 5.

1.2.2.1 Inerts

Els inerts s'incorporen al sistema amb unes funcions específiques, el control de la temperatura i la dilució, però no participen directament amb la transformació química dels reactius.

Clorobenzè

El clorobenzè és un compost aromàtic que es classifica com a halogen orgànic, és el resultat de la substitució d'un dels àtoms d'hidrogen del benzè per un àtom de clor. És un líquid incolor, amb una olor suau aromàtica, i es caracteritza per ser un compost inflamable, volàtil i tòxic per la salut humana i el medi ambient.

El clorobenzè presenta diverses aplicacions a nivell industrial, però es destaca el seu ús com a dissolvent, agent transportador i intermediari químic en la síntesis de compostos, especialment en la producció de colorants, pesticides i isocianats.

En l'empresa ChemCorp, el compost és utilitzat com a dissolvent inert en el procés de fabricació de l'MDI. La funció principal és dissoldre els reactius i estabilitzar la mescla per tal de facilitar el mecanisme de reacció.

Les propietats fisicoquímiques principals del compost s'inclouen a la Taula 1.3.

Taula 1.3 – Propietats del clorobenzè

Pes molecular (g/mol)	112,56
Formula molecular	C ₆ H ₅ Cl
Punt d'ebullició (°C)	132
Punt de fusió (°C)	-42
Pressió de vapor (a 20°C en kPa)	1,14
Densitat (a 20°C en g/cm³)	1,11
Solubilitat (a 20°C en g/100ml)	0,05

Els pictogrames de seguretat del compost s'adjunten seguidament a la Figura 1.12.



Figura 1.12 – Pictogrames de seguretat del clorobenzè

Propilenglicol

El propilenglicol és un compost orgànic de la família dels diols que conté dos grups funcionals hidroxil (-OH). Es presenta com un líquid incolor amb una viscositat moderada, té una baixa toxicitat fet que el fa apte per les aplicacions industrials, sobretot en el treball amb compostos altament reactius.

A ChemCorp s'utilitza el propilenglicol com a fluid tèrmic en els bescanviadors de calor, gràcies a les seves propietats fisicoquímiques. Es tracta d'un líquid estable, amb baixa toxicitat, baixa volatilitat i molt difícilment inflamable, fet que el fa idoni en processos crítics, ja que presenta molta compatibilitat amb altres compostos com per exemple el fosc.

El rang de temperatures òptim d'operació del fluid està entre -60°C i 180°C, per això es converteix en la opció més òptima en sistemes de bescanvi de calor on es requereix estabilitat tant a baixes com a altes temperatures. El comportament tèrmic del compost s'ajusta als requisits del procés de producció de la planta assegurant un funcionament eficient durant tot el cicle de producció.

A continuació, a la Taula 1.4, es mostren les propietats fisicoquímiques principals del propilenglicol.

Taula 1.4 – Propietats del propilenglicol

Pes molecular (g/mol)	76,10
Formula molecular	C ₃ H ₈ O ₂
Punt d'ebullició (°C)	180
Punt de fusió (°C)	-60
Pressió de vapor (a 20°C en kPa)	0,001
Densitat (a 20°C en g/cm³)	1,036
Solubilitat (a 20°C en g/100ml)	Miscible en aigua

Els pictogrames de seguretat del compost s'adjunten seguidament a la Figura 1.13.



Figura 1.13 – Pictogrames de seguretat del propilenglicol

Nitrogen

El nitrogen en condicions normals és un element que es troba en forma de gas diatòmic (N_2), és incolor, inodor i insípid. A nivell industrial, el nitrogen té un gran ventall d'aplicacions, gràcies a la seva alta estabilitat química i la seva baixa reactivitat amb moltes substàncies, incloses per exemple el fosc, el qual és un dels reactius principals de ChemCorp.

En aquest procés el nitrogen s'utilitza de dues formes diferents, es fa servir com a gas per la inertització en processos on hi ha un elevat risc de que es donin reaccions no desitjades, d'aquesta manera, es protegeixen els equips i reactius. S'utilitza en aquelles àrees on hi ha manipulació de substàncies tòxiques i tancs de reacció.

L'altre utilitat que se li dona al nitrogen a ChemCorp és com a fluid refrigerant en una de les torres de destil·lació (DC-301). El nitrogen líquid té un punt d'ebullició extremadament baix de $196\text{ }^{\circ}\text{C}$, fet que el fa l'agent ideal per processos criogènics com la condensació de gasos.

Gràcies a ésser un element no inflamable, no tòxic i econòmic fa que sigui una opció segura i eficient com a refrigerant tèrmic. A continuació, a la Taula 1.5, s'adjunten les seves principals propietats.

Taula 1.5 – Propietats del nitrogen

Pes molecular (g/mol)	28,01
Formula molecular	N_2
Punt d'ebullició ($^{\circ}\text{C}$)	-196
Punt de fusió ($^{\circ}\text{C}$)	-210
Pressió de vapor (a 20°C en kPa)	0 (és gas a T ambient)
Densitat (a 20°C en g/cm^3)	0,0011 (fase gasosa)
Solubilitat (a 20°C en $\text{g}/100\text{ml}$)	0,0019

Els pictogrames de seguretat del compost s'adjunten seguidament a la Figura 1.14.



Figura 1.14 – Pictograma de seguretat del nitrogen

1.2.2.2 Reactius

MDA

L'MDA (4,4'-Diaminodifenilmetà) és el reactiu principal i limitant del mecanisme de producció de l'MDI (metilendifenildiisocianat). Aquest compost és un isòmer bàsic de la família dels

difenilmetans i està estructurat per dues unitats d'aromàtiques benzè unides mitjançant un grup metilè (-CH₂-) i amb dos grups amino (-NH₂) situats en els extrems dels anells aromàtics.

La seva estructura química li atorga una elevada reactivitat en processos de policondensació, especialment en presència de fòsgè, com és el cas d'aquesta via de síntesi.

L'MDA és presenta habitualment en estat sòlid, acostuma a ser cristal·lí de color groguenc o blanquinós, es tracta d'un compost tòxic i classificat com a potencialment cancerigen. La seva manipulació requereix de l'ús de mesures estrictes de seguretat com ara sistemes de captació, ventilació localitzada i un control de les emissions i residus en tot el procés productiu. És important evitar la inhalació, ingestió o contacte cutani prolongat.

Les propietats de l'MDA són les presentades a la Taula 1.6.

Taula 1.6 – Propietats de l'MDA

Pes molecular (g/mol)	198,26
Formula molecular	C ₁₃ H ₁₄ N ₂
Punt d'ebullició (°C)	398
Punt de fusió (°C)	88-92
Pressió de vapor (a 20°C en kPa)	0,006
Densitat (a 20°C en g/cm³)	1,2
Solubilitat (a 20°C en g/100ml)	Molt baixa en aigua

Els pictogrames de seguretat del compost s'adjunten seguidament a la Figura 1.15.



Figura 1.15 – Pictogrames de seguretat de l'MDA

Fòsgè

El fòsgè, també anomenat carbonil diclorur, és un gas incolor, altament tòxic i reactiu utilitzat com a segon reactiu per la fabricació d'MDI, un compost clau per la fabricació de poliuretans.

És un compost extremadament tòxic per inhalació, és obligatori l'ús d'equips de protecció amb equips de respiració adequats, sistemes de conducció i reacció tancats, monitorització continua i es recomana la manipulació en estat líquid, refrigerat i amb sobrepressió per tal de facilitar el control de procés i reduir la seva volatilitat.

Adicionalment s'ha de destacar que en presència d'humitat pot descompondre's formant àcid clorhídric (HCl) més diòxid de carboni (CO₂), fent que la seva agressivitat corrosiva augmenti, obligant així a protegir els equips del sistema i el personal que ho manipula. Tot i els seus complexos desavantatges, el fòsgè és essencial per el procés químic de síntesi de l'MDI. Les seves propietats es presenten a continuació a la Taula 1.7.

Taula 1.7 – Propietats del fosgè

Pes molecular (g/mol)	98,92
Formula molecular	COCl ₂
Punt d'ebullició (°C)	8,2
Punt de fusió (°C)	-127,8
Pressió de vapor (a 20°C en kPa)	62,7
Densitat vapor (a 21,1°C en g/mm)	0,00416
Solubilitat (a 20°C en g/100ml)	Molt reactiu en aigua, dissoldre en solvents orgànics (clorobenzè)

A continuació es mostra la Figura 1.16 amb els pictogrames de seguretat del fosgè.



Figura 1.16 – Pictogrames de seguretat del fosgè

1.2.2.3 Intermedis de la reacció

Els intermedis es formen al llarg del desenvolupament de la reacció i corresponen a espècies químiques transitòries que tenen una existència molt breu, habitualment caracteritzades per una elevada inestabilitat.

Clorur de carbamoïl

El clorur de carbamoïl és un compost derivat de l'MDA que presenta dos grups funcionals adherits, una amina primària (-NH₂) i un grup clorur de carbamoïl (-NH-COCl), és una molècula estable gràcies a la seva distribució espacial.

És un compost que destaca per la seva alta reactivitat, atribuïble al grup carbamoïl, el qual actua com a intermedi en reaccions de funcionalització, permetent la formació d'urees, carbamats i isocianats.

Degut a que el clorur de carbamoïl és un intermedi de reacció molt inestable amb un temps de vida molt curt, minuts [9], es considera que no surt de la zona de reacció i no s'especifiquen les seves propietats.

1.2.2.4 Productes

Els productes són el resultat final de la reacció. En molts casos, el producte d'interès no s'obté de forma neta, i requereix de l'aplicació de processos de purificació i separació per eliminar impureses i obtenir el producte final d'especificació desitjada.

Àcid Clorhídric

L'àcid clorhídric (HCl) és un compost que es crea com a subproducte en la reacció de producció de l'MDI. Es tracta d'una solució aquosa de clorur d'hidrogen, un gas altament soluble en aigua, que forma un medi molt àcid i corrosiu. En la indústria química té un gran ventall d'aplicacions,

per exemple: regulació de pH, neteja de metalls, síntesis de compostos orgànics o fabricació de clorats.

És un àcid fort que en solució es troba completament ionitzat, mostra gran reactivitat amb metalls, òxids, carbonats i compostos orgànics sensibles als àcids.

És imprescindible l'ús d'equips de protecció individual (EPIs) degut al seu caràcter tòxic i corrosiu. Els equips es componen de guants resistent a productes químics, ulleres de seguretat, protecció respiratòria i roba impermeable.

L'espai de manipulació ha d'estar ventilat i s'ha de disposar de sistemes de neutralització i contenció en cas de que es produís un vessament. S'ha de tenir en consideració les seves implicacions mediambientals, ja que pot acidificar l'aigua i el sòl, són necessàries estratègies de tractament. Les propietats de l'àcid clorhídric es presenten a la Taula 1.8.

Taula 1.8 – Propietats de l'àcid clorhídric

Pes molecular (g/mol)	36,45
Formula molecular	HCl
Punt d'ebullició (°C)	57
Punt de fusió (°C)	-35
Pressió de vapor (a 20°C en kPa)	12,5
Densitat (a 21,1°C en kg/m³)	1,49
Solubilitat (a 20°C en g/100ml)	Molt soluble en aigua

A la Figura 1.17 s'especifiquen els pictogrames de seguretat del compost.



Figura 1.17 – Pictogrames de seguretat de l'àcid clorhídric

MDI

L'MDI és el producte final d'interès, és un compost orgànic altament reactiu, especialment amb aquelles substàncies que contenen grups funcionals amb hidrogen actiu, com per exemple, grups hidroxil (-OH), amines (-NH₂) o aigua (-H₂O). També és gràcies a aquesta alta reactivitat que permet la formació d'enllaços urea o uretà.

Les seves aplicacions principals són la fabricació d'escumes rígides de poliuretà, escumes flexibles, elastòmers i adhesius, prepolímers i sistemes híbrids, i també és utilitzat en la indústria del calçat i tèxtil.

L'MDI (metilendifenildiisocianat) és el producte d'interès principal del procés industrial considerat, és un dels isocianats més importants a nivell global per la producció de poliuretans i materials polimèrics.

L'MDI està compostat per dues unitats aromàtiques unides per un pont de metilè (-CH₂), i cada anell aromàtic té unit un grup isocianat (-NCO). El producte final té tres formes principals, la

primera és en forma pura monomèrica, la segona és MDI modificat (polimerització controlada) i la darrera és MDI pur polimèric. El més utilitzat i el producte que ofereix ChemCorp és aquest darrer, l'MDI polimèric pur.

El compost té diverses aplicacions industrials, les principals són:

- Escumes rígides de poliuretà
- Escumes flexibles
- Elastòmers i adhesius estructurals
- Prepolímers i sistemes híbrids
- Indústria tèxtil i del calçat

Tot i ser un compost amb moltes avantatges i aplicacions també és un compost que és altament tòxic per inhalació, potencialment sensibilitzant i requereix d'una manipulació en sistemes tancats, amb ventilació forçada i ús d'equipament de protecció individual. També és necessari controlar les seves emissions mitjançant sistemes de detecció, contenció i tractament de vapors.

A continuació s'adjunten a la Taula 1.9 les principals característiques d'aquest producte:

Taula 1.9 – Propietats de l'MDI

Pes molecular (g/mol)	250,26
Formula molecular	C ₁₅ H ₁₀ N ₂ O ₂
Punt d'ebullició (°C)	392
Punt de fusió (°C)	40
Pressió de vapor (a 20°C en kPa)	< 0,01
Densitat (a 21,1°C en g/cm³)	1,23
Solubilitat (a 20°C en g/100ml)	Reacció exotèrmica, descomposició

Els seus pictogrames de seguretat es presenten a la Figura 1.18.



Figura 1.18 – Pictogrames de seguretat de l'MDI

1.2.3 Diagrama de blocs

En aquest apartat es mostra el diagrama de blocs que permet esquematitzar de manera simplificada el funcionament global del procés. Aquest tipus de diagrama ofereix una visió general de les etapes principals, la seva seqüència i la interrelació entre els diferents components del sistema. El diagrama de blocs es mostra adjunt a continuació a la Figura 1.19 – Diagrama de blocs.

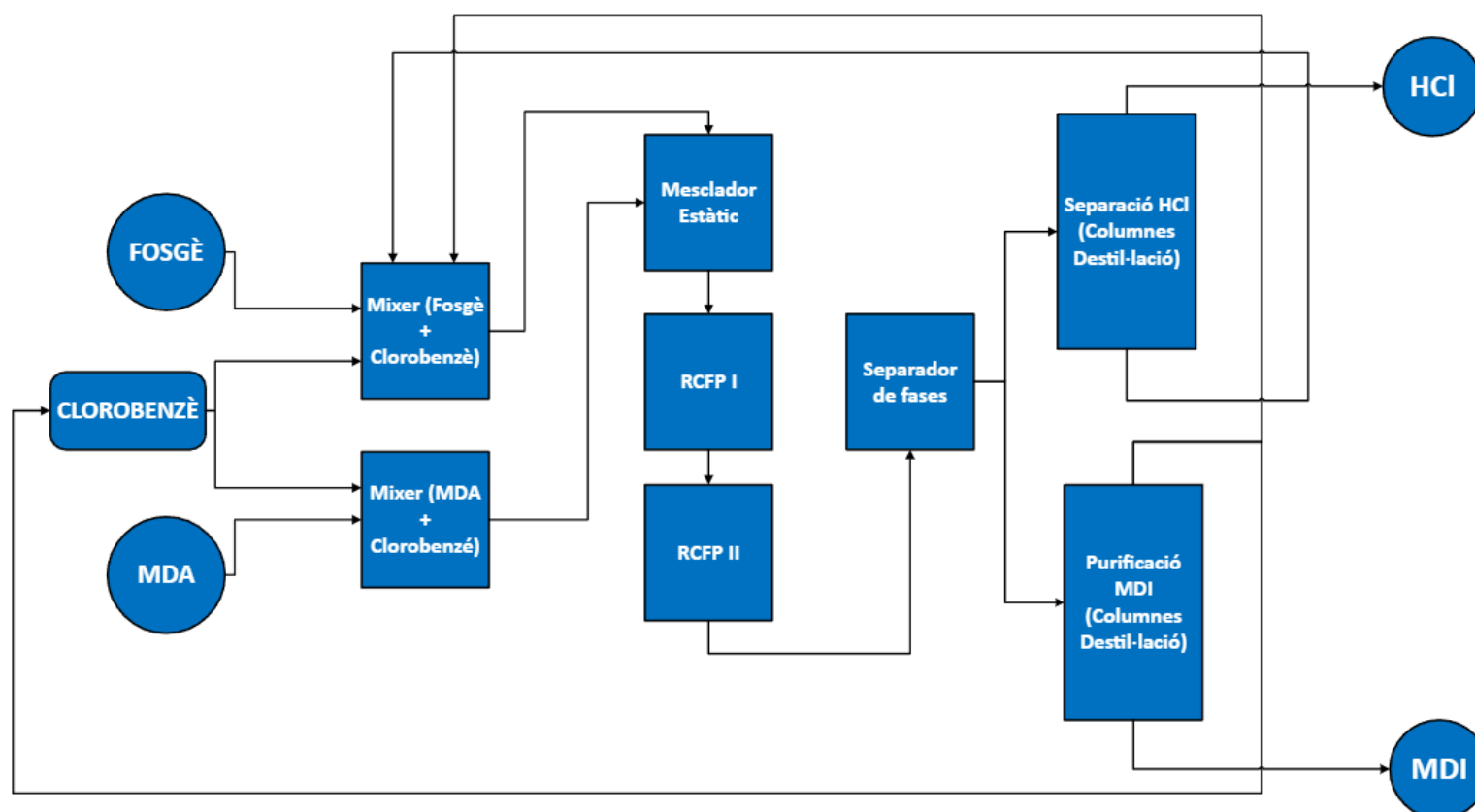


Figura 1.19 – Diagrama de blocs

1.2.4 Diagrama de flux de procés

Per representar amb detall tècnic el disseny i l'operació del procés, es realitza el diagrama de flux de procés. Aquest inclou totes les etapes del procés, els corrents d'entrada i sortida, les condicions operatives i els equips involucrats. El diagrama de flux de procés es presenta a la Figura 1.20.

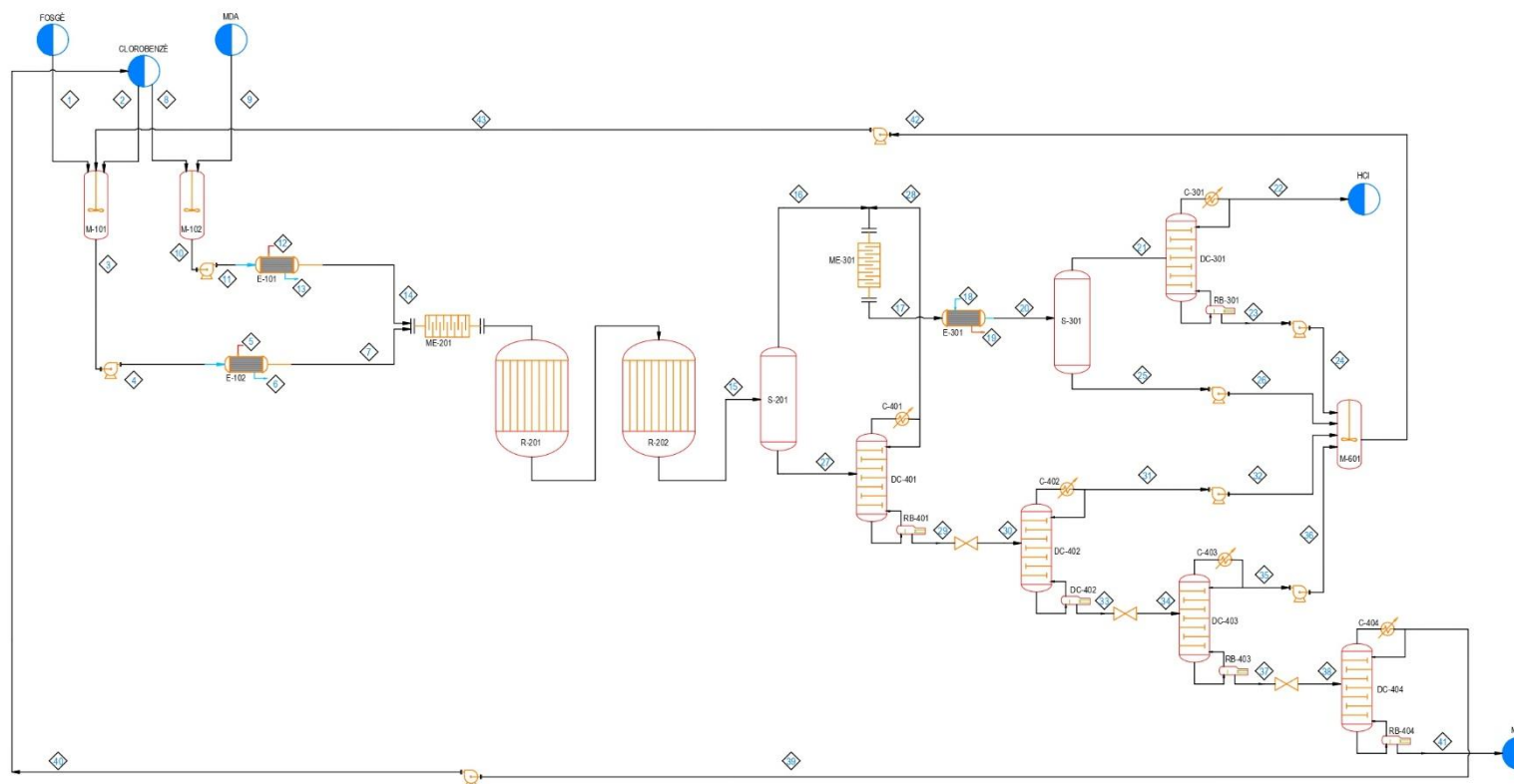


Figura 1.20 – Diagrama de flux de procés de ChemCorp

1.2.5 Balanç de matèria i comprovació

En aquesta secció es presenta el balanç de matèria del procés, en què s'identifiquen totes les entrades i sortides de matèria per a cada component en cadascun dels corrents de procés. A les

Taula 1.10, Taula 1.11, Taula 1.12, Taula 1.13, Taula 1.14 es detallen les característiques principals de cada corrent. Aquest balanç constitueix la base fonamental per a l'anàlisi i validació del disseny del sistema, permet verificar la conservació de la massa i comprovar la coherència del model de procés.

Número de corrent	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fracció molar de vapor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura (°C)	-35,00	25,00	33,33	34,83	150,00	115,00	115,00	25,00	80,00	46,03
Pressió (bar)	3,80	3,80	3,80	20,00	1,50	1,50	20,00	3,80	3,80	3,80
Cabal molar (Kmol/h totals)	513,78	499,05	1658,71	1658,71	2115,25	2115,25	1658,71	380,23	99,84	480,05
Cabal màssic (Kg/h totals)	50821,16	56170,76	174368,38	174368,38	160962,36	160962,36	174368,38	42796,77	19793,51	62590,28
Fraccions molars										
Clorobenzè	0,000	1,000	0,490	0,490	0,000	0,000	0,490	1,000	0,000	0,792
Fosgè	1,000	0,000	0,502	0,502	0,000	0,000	0,502	0,000	0,000	0,000
MDA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,208
HCl	0,000	0,000	0,008	0,008	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000
MDI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Propilenglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Taula 1.10 – Balanç de matèria de la planta de producció de ChemCorp 1/5

Taula 1.11 – Balanç de matèria de la planta de producció de ChemCorp 2/5

Número de corrent	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fracció molar de vapor	0	0	0	0	0	1	0,99	0	0	0,87
Temperatura (°C)	47,46	150,00	115,00	115,00	100	110,00	91,27	-10,00	10,00	40,00
Pressió (bar)	20,00	1,50	1,50	20,00	18,00	5,00	3,70	1,50	1,50	3,50
Cabal molar (Kmol/h totals)	480,05	790,73	790,73	480,05	1698,00	619,35	656,04	958,73	958,73	656,04
Cabal màssic (Kg/h totals)	62590,28	60171,04	60171,04	62590,28	170792,89	39312,50	40651,16	72955,47	72955,47	40651,16
Fraccions molars										
Clorobenzè	0,792	0,000	0,000	0,792	0,518	0,086	0,081	0,000	0,000	0,081
Fosgè	0,000	0,000	0,000	0,000	0,188	0,327	0,309	0,000	0,000	0,309
MDA	0,208	0,000	0,000	0,208	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HCl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,236	0,586	0,609	0,000	0,000	0,609
MDI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,059	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Propilenglicol	0,000	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	0,000

Taula 1.12 – Balanç de matèria de la planta de producció de ChemCorp 3/5

Número de corrent	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fracció molar de vapor	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0,06
Temperatura (°C)	40,00	-61,30	27,90	28,14	40,00	40,22	100,00	-58,62	149,22	141,44
Pressió (bar)	3,50	3,30	3,50	6,00	3,50	6,00	5,50	3,70	4,00	2,80
Cabal molar (Kmol/h totals)	572,96	387,09	185,87	185,87	83,09	83,09	1078,23	36,69	1041,54	1041,54
Cabal màssic (Kg/h totals)	32059,41	14113,47	17945,94	17945,94	8591,75	8591,75	130670,92	1338,67	129332,25	129332,25
Fraccions molars										
Clorobenzè	0,007	0,000	0,021	0,021	0,595	0,595	0,766	0,000	0,793	0,793
Fosgè	0,304	0,000	0,936	0,936	0,347	0,347	0,108	0,000	0,112	0,112
MDA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HCl	0,689	1,000	0,043	0,043	0,058	0,058	0,034	1,000	0,000	0,000
MDI	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,092	0,000	0,095	0,095
Propilenglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Taula 1.13 – Balanç de matèria de la planta de producció de ChemCorp 4/5

Número de corrent	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Fració molar de vapor	0	0	0	0,13	0	0	0	0,39	0	0
Temperatura (°C)	26,53	26,92	174,06	152,41	129,60	130,03	153,88	80,00	44,96	25,00
Pressió (bar)	2,00	6,00	2,50	1,50	1,00	6,00	1,50	0,15	0,05	3,8
Cabal molar (Kmol/h totals)	115,64	115,64	925,90	925,90	261,28	261,28	664,62	664,62	565,22	565,22
Cabal màssic (Kg/h totals)	11438,65	11438,65	117893,60	117893,60	29400,11	29400,11	88493,48	88493,48	63617,86	63617,86
Fraccions molars										
Clorobenzè	0,000	0,000	0,892	0,892	0,998	0,998	0,850	0,850	1,000	1,000
Fosgè	1,000	1,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
MDA	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
HCl	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
MDI	0,000	0,000	0,107	0,107	0,000	0,000	0,150	0,150	0,000	0,000
Propilenglicol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Taula 1.14 – Balanç de matèria de la planta de producció de ChemCorp 5/5

Número de corrent	41	42	43
Fracció molar de vapor	0	0	0
Temperatura (°C)	240,53	82,06	33,33
Pressió (bar)	0,05	6,00	6,00
Cabal molar (Kmol/h totals)	99,40	645,88	645,88
Cabal màssic (Kg/h totals)	24875,62	67376,46	67376,46
Fraccions molars			
Clorobenzè	0,000	0,486	0,486
Fosgè	0,000	0,494	0,494
MDA	0,000	0,000	0,000
HCl	0,000	0,020	0,020
MDI	1,000	0,000	0,000
Propilenglicol	0,000	0,000	0,000

Una vegada determinats i quantificats tots els corrents de procés a través del balanç de matèria, es comprova l'equilibri entre els cabals massics d'entrada i sortida.

A la Taula 1.15 Taula 1.15 – Comprovació del balanç de matèria es mostren els diferents corrents fonamentals d'entrada i sortida els quals comproven el balanç de matèria del procés.

Taula 1.15 – Comprovació del balanç de matèria

Entrades		Sortides	
Corrent	Cabal (kg/h)	Corrent	Cabal (kg/h)
1	50.821,163	22	14.112,410
2	56.170,760	39	63.207,713
8	42.796,770	41	24.875,622
9	19.793,510	43	67.376,458
TOTAL	169.582,203	TOTAL	169.582,203

Tal i com es mostra a la Taula 1.15 Taula 1.15 – Comprovació del balanç de matèria, els cabals massics dels corrents d'entrada són igual als dels corrents de sortida, i es verifica que es compleix de manera correcta el balanç massic en el sistema.

1.3 Especificacions i necessitats dels serveis de planta

Per tal de poder realitzar el procés de producció de forma correcta a ChemCorp, es imprescindible disposar de diversos serveis auxiliars de planta. Aquests serveis són un suport per poder abastir les necessitats energètiques, tèrmiques, entre d'altres. En aquest apartat, es detallen els serveis contractats, en el Capítol 2 i 11 s'especifiquen els cabals necessaris de cada un dels serveis, el consum dels equips i el disseny d'aquests. Seguidament es mostra els serveis dels que disposa la planta en la Taula 1.16

Taula 1.16 – Serveis de Planta

Servei	Tipus	Localització	Àrea/ Proveïdor
Aigua de xarxa	Matèria	Extern	Escomesa a la parcel·la
Aigua contra incendis	Matèria	Intern	A-1100
Oli tèrmic	Matèria	Intern	A-1000
Nitrogen	Matèria	Extern	Proveït per Air Liquide
Aire comprimit	Matèria	Intern	A-1000
Electricitat	Energia	Extern	A peu de parcel·la
Gas natural	Energia	Extern	A peu de parcel·la

1.3.1 Aigua de xarxa

A ChemCorp es disposa d'aigua provinent de la xarxa a través d'una escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm² on hi ha una canonada amb un diàmetre de 200 mm. Aquesta aigua de xarxa serà utilitzada exclusivament per l'àrea d'oficines, vestuaris, i laboratori. També s'utilitza per el reg d'aquelles zones verdes de la planta.

A efectes de procés, s'evita completament l'ús d'aigua degut a la alta reactivitat amb els elements utilitzats en la reacció química.

1.3.2 Protecció contra incendis

L'aigua contra incendis prové de la mateixa línia que l'aigua de xarxa i és utilitzada com a subministra dels equips antiincendis situats a les oficines, laboratoris i zones comuns. En els espais de reacció, pretractament, purificació i emmagatzematge no s'utilitza aigua en el cas d'incendi degut a la alta reactivitat dels compostos presents a la planta. En cas d'incendi en dites zones s'utilitzarà aigua polvoritzada per refredar els tancs de fosc. D'altra banda, per extingir les flames s'utilitzarà pols química seca de classe B/C, ja que és molt eficaç en cas de líquids inflamables degut a que sufoca el foc i no reacciona amb les substàncies. Una altra mesura adoptada és l'ús de diòxid de carboni (CO_2), s'utilitza especialment en espais tancats per desplaçar l'oxigen del medi.

1.3.3 Oli tèrmic

A ChemCorp degut a la limitació de l'ús d'aigua per els reactius emprats, s'ha optat per implementar oli tèrmic (propilenglicol) com a fluid tèrmic principal. Aquest compost permet operar a un rang de temperatures molt ampli des de -60 fins a 180 °C, cobrint així totes les necessitats de refrigeració i d'aportació de calor.

L'oli tèrmic es subministra per mitjà d'un circuit tancat, gestionat per una caldera, la qual garanteix una circulació contínua del fluid entre els diferents punts que requereixen consum tèrmic. Aquest sistema cíclic i tancat redueix les pèrdues per evaporació, minimitza la contaminació del fluid i permet el seu reaprofitament complet. El recanvi de l'oli es realitza únicament durant les parades planificades de la planta.

La temperatura de funcionament del sistema s'ha dissenyat per assolir un màxim de 180 °C i un mínim de -55 °C. És necessari comptar amb una caldera per escalfar l'oli i un sistema de fred per poder-ho refredar quan el procés ho requereixi.

El subministrament a la planta es fa de manera centralitzada des d'una única sala on s'hi troben tres calderes en sèrie on el corrent principal es ramifica cap a cadascun dels equips necessaris.

Els equips corresponents, cabals d'oli i consum tèrmic està especificat en els Capítols 2 i 11, equips i manual de càlculs respectivament.

1.3.4 Nitrogen

El nitrogen és utilitzat de dues formes diverses a la planta de ChemCorp, per inertitzar atmosferes on hi ha risc d'incendi i explosió i en estat líquid per refredar de forma criogènica. A ChemCorp el nitrogen es compra en un proveïdor, el qual s'encarrega del subministrament, el disseny del tanc i de la instal·lació necessària per satisfer els requeriments del procés, aquest proveïdor és *Air Liquide*.

El nitrogen sec en estat gasos és introduït en diferents punts del sistema per desplaçar l'oxigen i la humitat de les línies de procés i tancs per crear una atmosfera inerta i evitar reaccions no desitjades o ignicions espontànies. El subministrament es fa mitjançant un circuit de distribució de nitrogen a pressió regulat per vàlvules i sensors.

A més del seu ús com a gas inert, la planta també requereix la utilització de nitrogen líquid com a refrigerant criogènic. El sistema refrigerant està dissenyat per operar a temperatures aproximades de -100°C . El nitrogen líquid està emmagatzemat en un dipòsit criogènic aïllat tèrmicament amb línies específiques per el transport segur i eficient.

1.3.5 Aire comprimit

L'aire comprimit és un servei de planta molt necessari, el qual s'utilitza com a actuator de les vàlvules que contenen un sistema de control per tal de fer arribar les senyals pneumàtiques. L'aire comprimit es produeix mitjançant compressors els quals eleven la pressió a aproximadament 6-7 bar.

Les vàlvules tenen un requeriment d'aire comprimit d'aproximadament $1\text{ m}^3/\text{h}$ i $3\text{ m}^3/\text{h}$ per el seu funcionament òptim. Per tant el consum i requeriments d'aire es calcularà en l'apartat d'equips, Capítol 11, segons el número de vàlvules de control que té la planta.

1.3.6 Electricitat i estació transformadora

La fàbrica consumeix prop de 50 GWh d'electricitat a l'any, cosa que equival a una potència mitjana d'uns 5,7 MW. Per estar preparats per als moments de màxima demanda, es pren com a referència una punta d'uns 9,5 MW i s'hi afegeix un marge de seguretat: en total cal garantir uns 11 MW disponibles.

Per fer-ho, la planta rebrà l'energia a 20 kV i la transformarà a 400 V mitjançant dos transformadors de 6,3 MVA cadascun. Ambdós poden treballar alhora per compartir la càrrega, però si un s'avaria l'altre és prou gran per mantenir la producció al voltant del 80 % fins que es repari. L'arribada de la línia inclou dues vies d'alimentació i proteccions automàtiques que aïllen qualsevol incidència sense tallar el subministrament.

Després dels transformadors, un quadre principal reparteix l'electricitat als diferents tallers i serveis, amb sistema de posada a terra, ventilació i detectors d'incendi per evitar riscos. Aquesta configuració senzilla, però redundant, cobreix còmodament la demanda actual i deixa espai per futures ampliacions, tot complint la normativa elèctrica vigent.

1.4 Constitució de la planta

La planta es distribueix en diverses àrees gestionades per tal d'obtenir la màxima eficàcia possible, a continuació a la Taula 1.17 es presenten dites àrees.

Taula 1.17 – Àrees de la planta ChemCorp

Àrea	Descripció
A-000	Emmagatzematge amb zona de càrrega
A-100	Pretractament
A-200	Reacció
A-300	Separació HCl
A-400	Purificació MDI

A-500	Emmagatzematge MDI amb zona de descàrrega
A-600	Recirculació
A-700	Gestió externa i medi ambient
A-800	Sala de control
A-900	Manteniment
A-1000	Serveis de planta
A-1100	Àrea contra incendis
A-1200	Laboratoris, oficines, vestuaris, espai social i menjador
A-1300	Zona d'aparcaments

1.4.1 Emmagatzematge (A-000)

L'àrea A-000 s'ha construït per allotjar un total de 3 tancs de MDA, 5 tancs de fosc. Cada un dels tancs està proveït amb la seva pròpia cubeta de retenció, una mesura de seguretat essencial adoptada a ChemCorp degut a l'alta perillositat i reactivitat dels productes químics emmagatzemats. Aquesta àrea està dividida en dues parts, la dels tancs d'emmagatzematge del MDA que es troba aïllada i escalfada mitjançant resistències elèctriques, mentre que els tancs de fosc es troben aïllats tèrmicament reduint les seves pèrdues de calor.

Les matèries primeres, MDA i fosc, es generen in situ a la pròpia planta, i s'introdueixen als tancs a través d'una canonada directa, sense necessitat de transport extern. En canvi, el clorobenzè s'introdueix dins dels tancs mitjançant camions cisterna procedents d'un proveïdor extern el qual descarrega el producte en la mateixa àrea.

Els tancs d'aquesta zona són tenen una capacitat total de 53 m³ cada un dels tancs d'MDA i 52 m³ els cinc tancs de fosc. Els equips han estat dissenyats seguint la normativa especificada a la Secció VIII del ASME Boiler and Pressure Vessel Code (BPVC). Pel que fa a la selecció i caracterització dels materials emprats, s'ha utilitzat la Secció II-Part D del mateix codi ASME. El procés complet de disseny i càlcul es troba explicat de forma detallada en el Capítol 11- Manual de càlculs.

La zona del magatzem està subjecte al compliment de la normativa de seguretat ITC MIE APQ 1 per el clorobenzè, APQ 7 per el fosc i APQ 7 per l'MDA per tal de poder garantir una gestió segura i conforme amb la legislació.

Per assegurar el bon funcionament de la planta i del procés es realitzen les següents tasques a l'àrea A-000:

- Control de la descàrrega del camió cisterna i la càrrega d'MDA i fosc provinents de la planta
- Control d'estoc
- Mostrejos dels reactius per assegurar que compleixen les normatives i estàndards de qualitat
- Manteniment i control de l'estat dels equips per evitar accidents
- Control de tots els paràmetres crítics de procés
- Informe diari de l'estat dels equips funcionament del procés i activitat de l'operari
- Detectar errors i iniciar pla per solucionar-ho
- Control de sortida del magatzem

- Control de nivell del tanc, que no es quedi sota mínims i no superi el volum màxim

1.4.2 Pretractament (A-100)

A continuació de l'àrea d'emmagatzematge, es troba l'àrea A-100, destinada al pretractament de les matèries primeres. En aquesta àrea s'ajusten tots els paràmetres de procés abans de la reacció principal. S'optimitza la proporció d'entrada de cada reactiu i s'ajusten les temperatures i pressions de procés.

El clorobenzè actua com a dissolvent per afavorir la reacció entre el fosgè i l'MDA. L'ús d'aquest dissolvent permet assolir una millor conversió i millorar l'eficiència de procés.

Els reactius un cop han finalitzat el pretractament es transporten directament mitjançant canonades fins a la zona A-200, zona de reacció.

En la zona A-200 hi ha tres tancs pulmó els quals permeten el subministrament controlat dels reactius per tal d'aconseguir la proporció necessària que afavoreix la reacció. El tanc pulmó d'MDA és de 27 m³, el de Fosgè és de 43 m³ i el de clorobenzè té un volum de 208 m³.

L'àrea de pretractament conté els equips següents:

- Tancs pulmó, Mescladors, Bombes, Bescanviadors de calor

Dins de l'àrea de pretractament es duen a terme les tasques següents:

- Comprovar el correcte funcionament dels equips (vàlvules, bombes, equips de control, etc.)
- Informe diari de l'operari, indicant el que s'ha fet i el funcionament de l'àrea
- Comprovar els corrents de sortida de pretractament, verificar que les condicions de temperatura, pressió i composicions sigui les indicades.
- Assegurar que els *mixers* funcionin i no hi hagi vessaments
- Comprovar que l'entrada provinent de la recirculació segueixi els paràmetres indicats

1.4.3 Reacció (A-200)

La zona annexa a l'àrea de pretractament és la de reacció, identificada en els plànols com a A-200. En aquesta secció es desenvolupen les tres etapes del procés de reacció, les quals tenen lloc en els equips explicats anteriorment, el mesclador estàtic, els dos reactors tubulars de temps de residència i el separador de fases.

Els corrents provinents de l'àrea de pretractament arriben a la zona A-200 mitjançant canonades directes, les quals estan equipades amb vàlvules, aquests equips permeten el control del flux i el cabal amb precisió, alhora que proporcionen un mecanisme de control i seguretat en cas de fallada o situació d'emergència.

Les tasques que es duen a terme en l'àrea A-200 són:

- Comprovar que el flux de matèries és correcte, entrada i sortida
- Comprovar el correcte funcionament dels equips (vàlvules, bombes, agitadors)

- Comprovar que els sensors de control funcionen de forma correcta i estan dins del rang de valors de seguretat
- Comprovar alarmes dels reactors
- Realitzar un informe diari de les activitats realitzades, estat i funcionament de la zona
- Sempre tenir un operari a la zona i en contacte amb la sala de control

1.4.4 Separació HCl (A-300)

Durant la reacció de síntesi d'MDI (diisocianat de difenilmetà), es genera àcid clorhídric (HCl) com a subproducte. La presència d'HCl en el medi pot afectar negativament el desenvolupament de la reacció principal, ja que pot afavorir reaccions secundàries o inverses, com la formació de clorur de carbamoïl en lloc de l'isocianat desitjat. Per aquest motiu, a la planta ChemCorp s'ha implementat una línia específica de separació i recuperació d'HCl. Aquesta línia permet extreure pràcticament el 100% del HCl generat mitjançant tècniques de separació com la destil·lació flash i la destil·lació en columnes de plats.

L'HCl recuperat no es tracta com un residu, sinó que és transportat cap a una planta annexa on s'utilitza com a matèria primera en altres processos industrials. D'aquesta manera, es millora l'eficiència global del procés i es redueix l'impacte ambiental mitjançant l'aprofitament d'un subproducte potencialment perjudicial.

1.4.5 Purificació MDI (A-400)

A la zona A-400 té lloc la purificació, on es duu a terme un procés dissenyat per separar les impureses del producte d'interès com per exemple, el dissolvent utilitzat, l'HCl format o el fosc en excés. Aquesta àrea està equipada amb diversos equips clau, entre els quals destaquen quatre columnes de destil·lació de plats, vàlvules d'expansió per al control de pressió i temperatura i bombes per estabilitzar els corrents de recirculació.

A ChemCorp es busca la màxima eficiència possible i la reducció de consum de matèries. Per aquest motiu, el control precís dels corrents de separació és essencial per garantir la rendibilitat i qualitat del producte.

El procés de purificació de l'MDI és divideix en quatre etapes diferenciades. En primer lloc el corrent líquid procedent de la torre de destil·lació flash V-100 és introduït a la columna de plats DC-401, on es duu a terme la separació dels residus de HCl per caps. Posteriorment, el corrent de cues es dirigeix cap a una successió de tres columnes de plats en sèrie, les quals operen a unes condicions de pressió decreixents. Aquestes columnes eliminen impureses com el clorobenzè i el fosc residual. Finalment, les columnes DC-403 i DC-404 actuen com a etapes finals de purificació, aconseguint una puresa de l'MDI al 100%.

En aquesta zona les tasques a realitzar són:

- Realitzar un informe diari i detallat de les activitats realitzades a la planta, el funcionament dels equips i anotar les condicions de sortida dels corrents.
- Comprovar el correcte funcionament de les vàlvules
- Control dels paràmetres crítics del procés de purificació, temperatura de les columnes i pressió

- Mostrejos per comprovar la qualitat de l'MDI de sortida
- Comprovar que les composicions dels corrents de sortida de les columnes són correctes per la recirculació
- Comprovar que els llaços de control es troben operatius
- Comprovar el funcionament dels elements de les columnes, condensador i reboiler.

1.4.6 Emmagatzematge MDI (A-500)

Per a l'emmagatzematge del producte final es disposa de dos tancs pulmó idèntics, cadascun amb una capacitat de 200 m³. Tots dos tancs es refrigeren mitjançant un circuit tancat de propilenglicol que redueix la temperatura del producte de 240 °C fins a 80 °C. La temperatura de 80 °C és la temperatura més adequada per mantenir una viscositat baixa i el fluid sigui fàcilment impulsat.

El flux de sortida d'MDI s'alterna entre els tancs cada vuit hores mitjançant una vàlvula de tres vies, que distribueix el cabal del producte acabat. Aquesta configuració garanteix que no se superi el límit de capacitat en cas de retard en la recollida, ja que els camions cisterna carreguen també cada vuit hores.

1.4.7 Gestió externa i medi ambient (A-700)

L'àrea de gestió externa i medi ambient és l'encarregada de gestionar les relacions de ChemCorp amb gestors de residus externs i garantir el compliment de les normatives ambientals vigents. Entre les funcions en destaquen la identificació, el tractament i la disposició segura dels residus generats, així com el monitoratge i la reducció d'emissions. S'encarreguen també de dur a terme les auditories internes i d'implementar els estàndards com la ISO 14001 o l'EMAS.

En aquesta zona les tasques a realitzar són:

- Gestió de residus perillosos
- Control d'emissions
- Tractament i control d'aigües residuals
- Gestió de soroll i vibracions
- Realització d'auditories internes
- Implementació d'estàndards
- Elaboració Matriu de Leopold per veure si el procés pot ser més eficient

1.4.8 Altres àrees de ChemCorp

A part de les àrees comentades anteriorment, dins de la planta hi ha altres zones les quals requereixen un número inferior d'operaris, aquestes àrees són:

- A-600 – Recirculació
- A-800 – Sala de control
- A-900 – Manteniment
- A-1000 – Serveis de planta
- A-1100 – Àrea contra incendis

- A-1200 – Laboratoris, Oficines, Vestuaris, Espai social i menjador
- A-1300 – Zona d'aparcaments

.A la sala de control hi haurà com a mínim un operari encarregat de supervisar el correcte funcionament del procés, mentre que un segon operari serà responsable de recollir mostres i traslladar-les al laboratori per garantir la qualitat del producte.

L'àrea A-1000 requereix la presència d'un operari responsable d'obrir manualment, en cas d'aturada o posada en marxa, els sistemes d'aigua i electricitat. Així mateix, ha de supervisar el funcionament dels equips, garantir el subministrament continu dels serveis i verificar que es mantenen les condicions d'operació establertes. En aquesta àrea també hi ha les calderes i el chiller per tant l'operari ha de revisar el correcte funcionament, revisar el nivell de fluid tèrmic i les pressions de treball.

A la zona A-1100, destinada a la protecció contra incendis, s'han de realitzar revisions periòdiques per garantir l'estat òptim dels sistemes d'extinció, verificar la seva vigència i assegurar el correcte funcionament del sistema de bombeig d'aigua.

A les àrees 900 i 1200 es treballarà per garantir el compliment de les normatives de qualitat i seguretat, mantenir el control dels productes i reactius. També per impulsar millores contínues en el procés que permetin augmentar l'eficiència i mantenir la competitivitat de l'empresa.

La Figura 1.21 mostra la distribució de les àrees de la planta de ChemCorp.

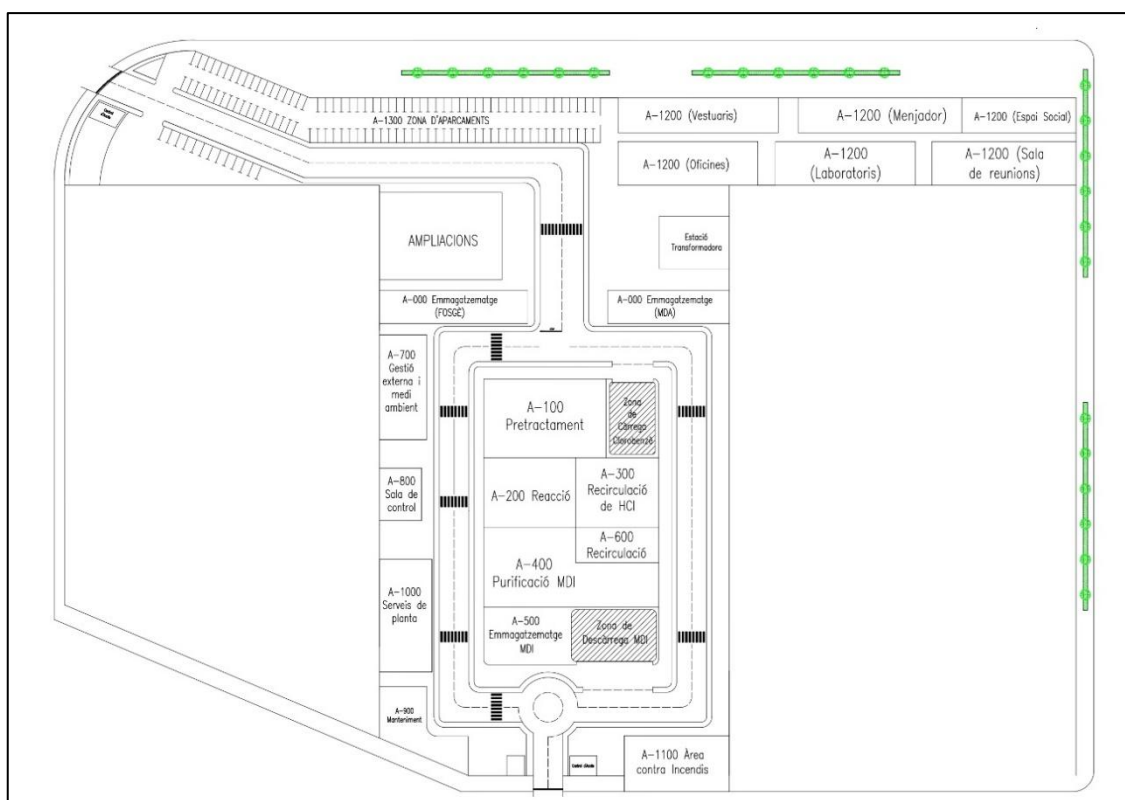


Figura 1.21 – Distribució àrees de la planta de ChemCorp

1.5 Planificació temporal

Un cop aprovat el projecte de producció industrial d'MDI que proposa ChemCorp, cal desenvolupar una planificació temporal detallada i exhaustiva de tot el procés de construcció, instal·lació i posada en marxa de tota la planta productiva. D'aquesta manera, mitjançant un diagrama de Gantt, es representen totes les tasques a desenvolupar durant tot el procés de construcció de la planta, per tal d'organitzar-les, considerant la duració de cadascuna d'elles i seguint un ordre de precedència lògic, amb l'objectiu d'optimitzar al màxim els recursos disponibles.

Com es pot observar a la Taula 1.18, es mostren la totalitat de tasques a realitzar per tal de dur a terme el projecte de ChemCorp, indicant la durada de cada tasca i la seva precedència.

Taula 1.18 – Planificació temporal de ChemCorp

Nº de tasca	Tasca	Duració (dies)	Precedència
1	Enginyeria bàsica	60	-
2	Obtenció de llicències d'obra i activitats	150	-
3	Enginyeria de detall	130	1
4	Demanda d'equips	150	3
5	Neteja del terreny	30	2
6	Excavacions i cimentació	60	5
7	Vials i voreres	30	6
8	Instal·lació de subministres	30	6
9	Aparcaments	20	7
10	Edificació de laboratoris i tallers	90	8
11	Edificació d'oficines i zona social	90	8
12	Garita de seguretat	5	8
13	Àrea contra incendis	35	8
14	Instal·lació equips	90	4, 8
15	Calibratge d'equips	30	14
16	Instal·lació de plataformes, suports, escales, baranes i portes	30	14
17	Instal·lació de canonades de procés	75	14
18	Instal·lació de canonades de servei	60	14
19	Connexió de les canonades de procés amb els respectius equips	30	15, 17
20	Connexió de les canonades de serveis amb el procés	30	15, 18
21	Instal·lació de la instrumentació	60	15, 17, 18
22	Connexió de la instrumentació amb els respectius equips	30	21
23	Instal·lació sistema elèctric	60	11

Nº de tasca	Tasca	Duració (dies)	Precedència
24	Connexió elèctrica als equips	30	15, 23
25	Prova d'equips	30	21, 22
26	Pintura	30	25
27	Neteja	30	26

Un cop definida tota la llista de tasques a realitzar i considerant el seu ordre de precedència entre elles, es pot implementar el diagrama de Gantt per tal d'esquematitzar el projecte i poder definir quines son les tasques més crítiques.

En aquest cas, mitjançant l'aplicació *Gantt Project*, s'ha elaborat el diagrama temporal del projecte, tal i com es pot apreciar a la **Error! No s'ha trobat l'origen de la referència..**

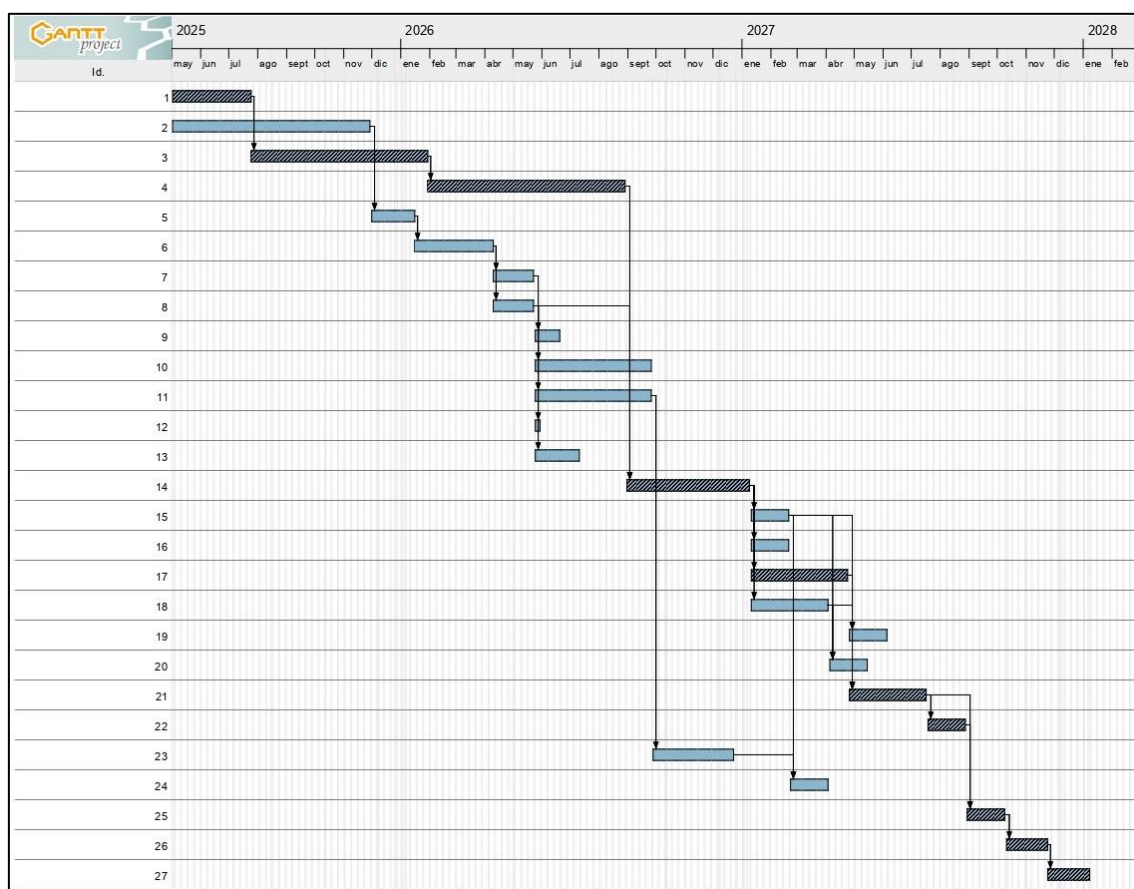


Figura 1.22 – Diagrama de Gantt de la planificació temporal de ChemCorp

Així doncs, com s'observa a la Figura 1.22, es pot veure com les tasques de color més fosc determinen el camí crític del projecte, el qual defineix la duració total d'aquest.

En aquest sentit, segons la planificació esperada, el projecte de construcció de la planta de ChemCorp tindria una durada aproximada d'uns 2 anys i 8 mesos.

1.6 Bibliografia

En aquest apartat es recullen les referències bibliogràfiques consultades per desenvolupar el present capítol.

- [1] RACE. (s. f.). *Mapa de carreteres de Tarragona: Vías y autopistas en la Costa Dorada*. Recuperat el 5 d'abril de 2025 de <https://www.race.es/mapa-de-carreteras-espana/mapa-de-carreteras-tarragona>
- [2] *Complex petroquímic de Tarragona*. (2024, 1 novembre). A *Viquipèdia, l'enciclopèdia lliure*. Recuperat el 12 d'abril de 2025 de https://ca.wikipedia.org/wiki/Complex_petroqu%C3%ADmic_de_Tarragona
- [3] Green View Technology and Development Co., Ltd. (2022, 5 juliol). *MDI polimérico*. Recuperat el 18 d'abril de 2025 de <http://es.gvchem.com/info/polymeric-mdi-73886243.html>
- [4] Tyagi, I., Tyagi, I. V., & Anand, S. (2024, 26 desembre). *High Purity MDI Market: Trends & Opportunities 2032*. WiseGuy Research Consultants Pvt Ltd. Recuperat el 27 d'abril de 2025 de <https://www.wiseguyreports.com/es/reports/high-purity-mdi-market>
- [5] Google. (s. f.). *Vols intercontinentals des de Barcelona 2019* [Mapa]. Google My Maps. Recuperat el 30 d'abril de 2025 de https://www.google.com/maps/d/u/0/viewer?mid=1RcEbPcQrd_LtTS7sH0S3NrLLwb_5kSzg
- [6] Air Liquide Espanya. (s. f.). *Suministro ONSITE*. Recuperat el 2 de maig de 2025 de <https://es.airliquide.com/suministro/suministro-onsite>
- [7] Idescat. (s. f.). *El municipi en xifres* [Base de dades]. Recuperat el 10 de maig de 2025 de <https://www.idescat.cat/emex/?id=431482>
- [8] *Ferrocarril en España*. (2025, 8 maig). A *Wikipedia, la enciclopedia libre*. Recuperat el 22 de maig de 2025 de https://es.wikipedia.org/wiki/Ferrocarril_en_Espa%C3%B1a
- [9] Stroofer, E., Leuthold, R., Maurer, M., Sohn, M., Pallasch, H., Mackenroth, W., Brodhagen, A., Wolfert, A., Nevejans, F., Penzel, U., & Se, B. (2002, 19 desembre). *Método para la producción continua de isocianatos* (Pat. ES 2353005 T3). Google Patents. Recuperat el 30 de maig de 2025 de <https://patents.google.com/patent/ES2353005T3/es>
- [10] Weather Spark. (s. f.). *El clima en Tarragona, el temps per mes, temperatura mitjana (Espanya)*. Recuperat el 4 de juny de 2025 de <https://es.weatherspark.com/y/45958/Clima-promedio-en-Tarragona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

