

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

GRAU D'ENGINYERIA QUÍMICA



Hugo Cortés Ramos

Laura Carrizosa Romero

Máximo Rodrigo Esquivel Silva

Marta Lorente Puerto

David Piqueras Díaz

Loris Tao Ribreau Soulier

Tutor: Josep Anton Torà

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID A PARTIR DE METANOL

GRAU D'ENGINYERIA QUÍMICA

1. ESPECIFICACIONS



ÍNDIX

1. Especificacions	8
1.1. Definició del projecte	8
1.1.1. Bases del projecte	9
1.1.2. Abast del projecte	10
1.1.3. Localització de la planta	12
1.1.3.1. Paràmetres d'edificació de la planta i plànol de la parcel·la.....	13
1.1.3.2. Serveis disponibles a planta.....	15
1.1.3.3. Característiques climatològiques.....	16
1.1.3.4 Comunicacions i accessibilitat de la planta.....	18
1.1.4. Abreviacions	23
1.2. Característiques dels compostos implicats en el procés.....	25
1.2.1. Matèries primeres	25
1.2.1.1. Metanol (CH_3OH)	25
1.2.1.2. Oxigen molecular (O_2).....	27
1.2.2. Inerts	28
1.2.2.1. Nitrogen (N_2)	28
1.2.3. Catalitzadors.....	29
1.2.3.1. Catalitzador $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$	29
1.2.4. Productes	29
1.2.4.1. Formaldehid (CH_2O)	29
1.2.4.2. Aigua (H_2O).....	31
1.2.5. Aplicacions del formaldehid	31
1.3. Obtenció de formaldehid	32
1.3.1. Reaccions químiques principals.....	32
1.3.2. Selecció del procés industrial	33
1.3.2.1. Procés BASF	33
1.3.2.2. Procés Dynea.....	34
1.3.2.3. Procés FORMOX	35

1.3.2.4. Selecció del procés	36
1.3.3. Condicions operatives del procés	37
1.3.4. Cinètica i control de reaccions secundàries	39
1.3.4.1. Cinètica de la reacció d'oxidació del metanol	39
1.3.4.2. Catalitzador $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ i comportament catalític	40
1.3.4.3. Control reaccions secundaries	41
1.4. Descripció del procés	41
1.4.1. Diagrama de blocs.....	42
1.4.2. Diagrama de procés (PFD)	43
1.4.3. Descripció del procés	44
1.4.3.1. Emmagatzematge de matèries primeres (A-100)	44
1.4.3.2. Reacció (A-200)	44
1.4.3.3. Absorció i obtenció de formaldehid (A-300).....	46
1.4.3.4. Emmagatzematge de producte final (A-400)	48
1.4.4. Balanç de matèria i comprovació del balanç	49
1.5 Especificacions i necessitats dels serveis de planta.....	53
1.5.1. Aigua de xarxa.....	55
1.5.2. Aigua contra incendis	55
1.5.3. Aigua de refrigeració.....	55
1.5.4. Aire comprimit.....	56
1.5.5. Nitrogen.....	56
1.5.6. Electricitat	56
1.5.7. Gas natural	57
1.5.8. Xarxa d'efluents i sanejament.....	57
1.6 Construcció de la planta.....	57
1.6.1. Plànol de la planta	58
1.6.2. Descripció de les àrees	60
1.6.2.1. A-100 Emmagatzematge de matèries primeres.....	60
1.6.2.2. A-200 Reacció.....	60

1.6.2.3. A-300 Absorció.....	61
1.6.2.4. A-400 Emmagatzematge de producte	61
1.6.2.5. A-500 Recepció i mostres laboratori.....	62
1.6.2.6. A-600 Bassa contra incendis i estació de bombament	62
1.6.2.7. A-700 Utilities	62
1.6.2.8. A-800 Zona de control.....	63
1.6.2.9. A-900 Taller i manteniment	63
1.6.2.10. A-1000 Oficines.....	64
1.6.2.11. A-1100 Vestuari	64
1.6.2.12. A-1200 Menjador i sala d'estar.....	64
1.6.2.13. A-1300 Laboratori	65
1.6.2.14. A-1400 Zona d'espera per camions per carregar i descarregar	65
1.6.2.15. A-1500 Pàrquing	65
1.7 Plantilla de treballadors i departaments.....	66
1.8 Planificació temporal	72
1.9 Bibliografia	77

1. Especificacions

1.1. Definició del projecte

El present capítol recullen les especificacions tècniques, operatives i generals que defineixen el projecte de disseny de la planta química MF Formaldehyde Solutions d'ara endavant MF, destinada a la producció de 100.000 tones anuals de formaldehid al 37% a partir de metanol i aire. Aquestes especificacions serveixen com a base per al desenvolupament del disseny de la instal·lació i per a la seva posterior avaluació tècnica.

El projecte té com a objectiu el disseny d'una planta industrial per a la producció de formaldehid en dissolució aquosa al 37% estabilitzada amb metanol, a partir de metanol i aire com a matèries primeres principals. La instal·lació es dimensiona per a una capacitat de producció de 100.000 tones anuals de producte final, amb comercialització en fase líquida i expedició mitjançant camions cisterna. El disseny inclou totes les unitats necessàries per a la síntesi, separació, estabilització, emmagatzematge i distribució del producte.

El procés de referència utilitzat és el procés catalític Formox, basat en l'oxidació parcial del metanol amb excés d'aire sobre un catalitzador d'òxids metàl·lics. Aquest procés és àmpliament utilitzat a escala industrial per a la producció de formaldehid gràcies a la seva alta eficiència i selectivitat.

La planta s'ubicarà al Polígon Industrial "Satèl·lits", al terme municipal de Tarragona, dins d'un entorn industrial consolidat amb una elevada presència del sector químic. Aquesta ubicació garanteix una adequada integració logística i industrial, així com l'accés a infraestructures viàries, ferroviàries, marítimes i aèries que permeten la connexió amb proveïdors de matèries primeres i receptors del producte final.

El projecte haurà de complir la normativa urbanística del polígon, així com la normativa sectorial vigent en matèria de seguretat industrial, medi ambient, protecció contra incendis i higiene en el treball.

A nivell funcional, el disseny de la planta contempla la definició de totes les unitats de procés i serveis auxiliars necessaris per al seu correcte funcionament. Així mateix, es realitza l'avaluació de les comunicacions i accessibilitat de la instal·lació, considerant les infraestructures de transport i la seva viabilitat logística.

Seguidament, es descriuen les característiques dels compostos implicats en el procés, incloent les matèries primeres, els catalitzadors i el producte final, així com les principals aplicacions industrials del formaldehid. També es presenten les reaccions químiques del procés, les condicions operatives seleccionades i els criteris de selecció de la tecnologia, incloent una breu anàlisi de la cinètica i de les reaccions secundàries.

Finalment, es desenvolupa la descripció global del procés mitjançant diagrames de blocs i diagrames de flux (PFD), juntament amb el balanç de matèria i la seva verificació. Aquest apartat permet establir una visió global del funcionament de la planta, així com de les principals corrents del procés, i constitueix la base per al desenvolupament dels capítols posteriors.

En conjunt, aquest projecte té com a finalitat avaluar la viabilitat tècnica del procés i establir les bases de disseny de la planta, garantint un funcionament segur, eficient i sostenible dins del marc normatiu aplicable.

1.1.1. Bases del projecte

Les bases de disseny del present projecte defineixen les condicions operatives, capacitats i restriccions principals que han de regir el desenvolupament de la planta industrial. Aquestes especificacions constitueixen el punt de partida per al dimensionament de les unitats de procés i serveis auxiliars.

Les principals condicions del projecte són les següents:

- **Capacitat de producció:** 100.000 tones/any de formaldehid en dissolució aquosa al 37% estabilitzada amb metanol.
- **Presentació del producte final:** solució aquosa de formaldehid al 37% expedida en camions cisterna amb capacitat aproximada de 25 tones.
- **Procés de referència:** procés Formox d'oxidació parcial del metanol amb excés d'aire sobre un catalitzador d'òxids metàl·lics.

- **Funcionament de la planta:** La planta opera en continu durant 330 dies a l'any, mentre que els 35 dies restants corresponen al període de parada programada de manteniment des de l'1 d'agost fins al 4 de setembre. Període durant el qual s'aturen totes les operacions per garantir la seguretat i la continuïtat del procés.
- **Localització:** Polígon Industrial "Satèl·lits", al terme municipal de Tarragona.
- **Àrees mínimes del projecte:**
 - Emmagatzematge de matèries primeres i estació de càrrega i descàrrega
 - Unitats de reacció i purificació del producte
 - Emmagatzematge de producte acabat
 - Serveis auxiliars de planta (vapor, aire comprimit, electricitat, etc.)
 - Oficines, laboratoris i vestuaris
 - Àrees auxiliars (control d'accessos, aparcament, contra incendis, tractament d'aigües i gasos)

1.1.2. Abast del projecte

El present projecte de disseny d'una planta industrial per a la producció de formaldehid al 37% a partir de metanol i aire contempla el desenvolupament integral de totes les àrees tècniques, operatives, de seguretat i de suport necessàries per garantir la viabilitat global de la instal·lació des del punt de vista tècnic, econòmic, mediambiental i de seguretat industrial.

A continuació es detallen els principals aspectes inclosos en l'abast del projecte, els quals permeten la seva completa definició i anàlisi:

- Disseny i especificació de les unitats d'emmagatzematge de matèries primeres (metanol, aire i altres utilitats associades) i del producte final (formaldehid al 37%), així com de les instal·lacions de càrrega i descàrrega.
- Disseny i especificació dels equips principals del procés de síntesi de formaldehid, incloent el reactor, el de separació i absorció.
- Disseny del sistema de control, instrumentació i automatització de la planta, incloent els llaços de control necessaris per al correcte funcionament i monitoratge del procés.

- Disseny de la xarxa de canonades, vàlvules, bombes i equips auxiliars associats al transport de corrents de procés i utilitats.
- Estudi de seguretat i higiene industrial, incloent l'anàlisi de riscos del procés, l'aplicació de metodologies com HAZOP i la consideració de les fitxes de seguretat dels compostos implicats.
- Avaluació de l'impacte ambiental de la planta, considerant emissions atmosfèriques, efluents líquids i residus sòlids, així com les mesures de minimització i tractament corresponents.
- Estudi de la viabilitat econòmica del projecte, incloent l'estimació de la inversió inicial, costos operatius i anàlisi de rendibilitat.
- Elaboració de les bases de disseny, diagrames de flux de procés (PFD) i diagrames de tubs i instrumentació (P&ID) necessaris per a la definició completa del procés.
- Descripció del protocol de posada en marxa, operació normal i aturada de la planta.
- Dimensionament i distribució de les àrees de serveis auxiliars (vapor, aigua de refrigeració, aire comprimit, nitrogen, electricitat, etc.).
- Dimensionament i distribució de les àrees de planta, incloent zones de producció, emmagatzematge, serveis, laboratori, oficines i sala de control.
- Planificació general del projecte i consideració de possibles ampliacions futures de la capacitat de producció.

1.1.3. Localització de la planta

La planta del present projecte es construirà en una parcel·la situada al polígon industrial satel·lits, ubicat al complex petroquímic de Tarragona, a la comarca del Tarragonès (Catalunya, Espanya). Aquest entorn industrial és un dels principals nuclis de la indústria química i petroquímica a escala estatal, fet que garanteix una elevada disponibilitat d'infraestructures, serveis i accessibilitat logística per a una instal·lació d'aquestes característiques.

El complex petroquímic de Tarragona es troba principalment a la zona oest del municipi de Tarragona, i s'estén pels termes municipals de La Canonja, Vila-seca, Constantí, El Morell i La Pobla de Mafumet, entre d'altres. Aquesta concentració industrial es caracteritza per la presència d'importantes empreses del sector químic, energètic i logístic, així com per una xarxa consolidada de serveis auxiliars i infraestructures de transport.

El municipi de Tarragona compta amb una població aproximada superior als 140.000 habitants i es troba a uns 90 km de Barcelona, fet que li confereix una posició estratègica dins de l'eix industrial del nord-est peninsular. La proximitat al port de Tarragona, així com a importants vies de comunicació viària i ferroviària, constitueix un factor clau per a la viabilitat logística del projecte.

A continuació es mostra la localització de Tarragona dins del territori nacional espanyol, destacant la seva posició estratègica a la costa mediterrània.

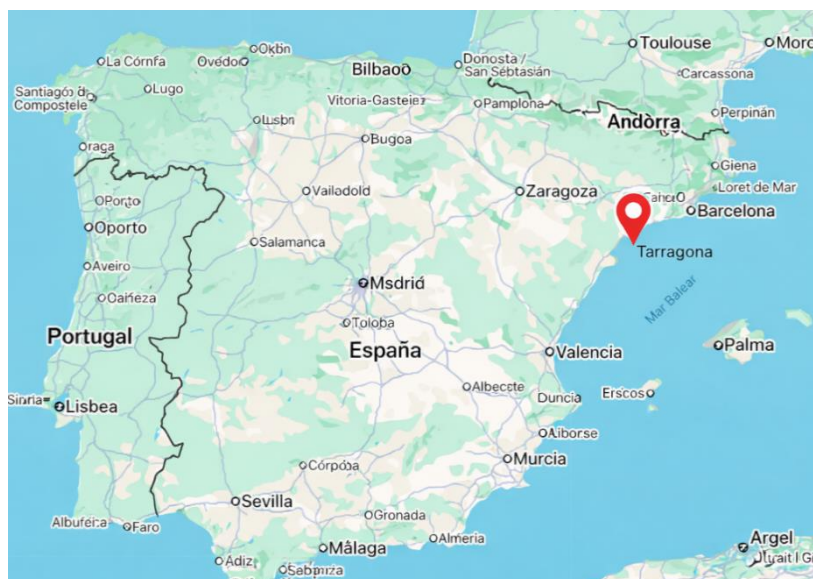


Figura 1.1. Localització de Tarragona dins del territori nacional espanyol.

Seguidament, es presenta la localització de la província de Tarragona dins de Catalunya, així com el detall territorial del Tarragonès i del municipi de Tarragona dins de la província.



Figura 1.2. Localització de la província de Tarragona dins de Catalunya.



Figura 1.3. Localització del Tarragonès dins de la província de Tarragona.

1.1.3.1. Paràmetres d'edificació de la planta i plànol de la parcel·la

En aquest apartat es recullen els principals paràmetres urbanístics i d'edificació aplicables a la parcel·la seleccionada per a la implantació de la planta de producció de formaldehid MF. A continuació, es presenten a la següent taula les limitacions relatives a l'edificabilitat, l'ocupació de la parcel·la, les reculades mínimes, les alçades permeses, la dotació d'aparcaments i les distàncies de separació entre edificis. El compliment d'aquests requisits s'ha considerat durant el desenvolupament del disseny preliminar de la instal·lació, garantint l'adequació del projecte a la normativa urbanística vigent.

Taula 1.1. Paràmetres d'edificació de la planta MF.

Paràmetre	Valor
Edificabilitat	1,5 m ² sostre/m ² sòl
Ocupació màxima de parcel·la	75%
Ocupació mínima de parcel·la	20% de l'ocupació màxima
Reculades	5 m a vials i parcel·les veïnes
Alçada màxima	16 m i 3 plantes, excepte en producció justificant la necessitat del procés
Alçada mínima	4 m i 1 planta
Aparcaments	1 plaça/150 m ² construïts
Distància entre edificis	1/3 de l'edifici més alt amb un mínim de 5 m

1.1.3.2. Serveis disponibles a planta

Per al correcte funcionament de la planta de producció de formaldehid i per tal que s'hi puguin desenvolupar adequadament les operacions de procés, emmagatzematge i serveis auxiliars, és necessària la disponibilitat d'una sèrie de serveis industrials bàsics. La ubicació de la planta dins del polígon industrial Satèl·lits permet disposar de les infraestructures necessàries per al subministrament d'aquests serveis.

A la Taula 1.2 es recullen els serveis disponibles a planta i les seves principals característiques.

Taula 1.2. Serveis disponibles a la planta

Servei	Característiques
Electricitat	Connexió a xarxa elèctrica industrial de mitja tensió disponible a peu de parcel·la. Es preveu la instal·lació d'una subestació transformadora pròpia.
Gas natural	Xarxa de subministrament de gas natural disponible al polígon per a serveis auxiliars i generació de vapor.
Aigua de xarxa	Connexió a la xarxa d'aigua industrial i potable disponible a peu de parcel·la.
Aigua contra incendis	Xarxa contra incendis del polígon disponible. Es dissenyarà un sistema propi de reserva i bombeig d'aigua contra incendis.
Clavegueram	Xarxa de sanejament industrial connectada al sistema general del polígon.
Aire comprimit	Producció mitjançant compressors propis instal·lats a la planta.
Nitrogen	Subministrament mitjançant dipòsit criogènic o connexió a xarxa industrial existent.
Terreny	Terreny industrial condicionat per a la construcció d'instal·lacions industrials pesants.

La disponibilitat d'aquests serveis facilita la implantació de la planta i redueix la necessitat d'infraestructures externes addicionals. Així mateix, el fet d'ubicar la instal·lació dins del complex petroquímic de Tarragona permet disposar d'una elevada fiabilitat en el subministrament de matèries primeres i serveis auxiliars necessaris per a l'operació contínua de la planta.

1.1.3.3. Característiques climatològiques

El coneixement de les característiques geogràfiques i climatològiques de la zona on s'ubicarà la planta resulta fonamental per al correcte disseny de les instal·lacions industrials. Factors com la temperatura, la humitat, el règim de vents o la sismicitat poden influir directament en el dimensionament d'equips, la selecció de materials, el disseny de serveis auxiliars i la seguretat global de la planta.

La planta de producció de formaldehid es localitza al polígon industrial de Tarragona, una zona amb elevada activitat petroquímica i unes característiques climàtiques pròpies del litoral mediterrani. Aquestes condicions ambientals afectaran especialment els sistemes de refrigeració, les condicions d'emmagatzematge de matèries primeres i productes, així com la protecció de les instal·lacions exteriors.

A continuació s'analitzen les principals variables del medi físic que caracteritzen la zona d'estudi, incloent-hi la temperatura, la precipitació, la humitat, el règim de vents i la sismicitat. Les dades utilitzades provenen de sèries climàtiques històriques multianuals representatives de la zona de Tarragona (1980–2016), les quals permeten descriure el comportament climàtic mitjà i reduir la influència de variacions interanuals puntuals [1].

Temperatura

La zona on s'ubica la planta presenta un clima mediterrani litoral, amb temperatures suaus a l'hivern i càlides a l'estiu. La temperatura mitjana anual es situa aproximadament entre 16 i 18 °C, amb màximes estivals properes als 30 °C i mínimes hivernals generalment entre el 5–10 °C, fet que limita el risc de congelació en instal·lacions industrials. A la Figura 1.5 es mostra l'evolució de la temperatura mitjana anual al llarg del període de referència, on s'observa un patró estacional clar i una variabilitat interanual moderada.

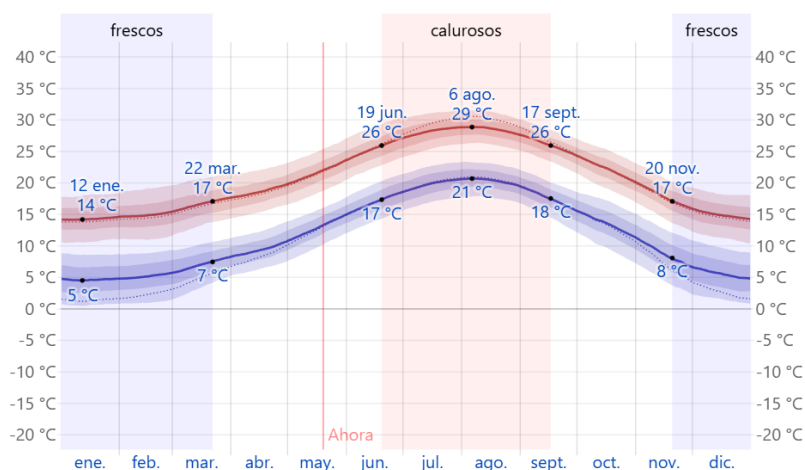


Figura 1.5. Tendència de temperatura a Tarragona [1]

Precipitació

La precipitació a la zona de Tarragona presenta una distribució irregular al llarg de l'any, amb un percentatge de dies plujosos que oscil·la entre el 5% i el 20%, amb mínims marcats a l'estiu i màxims a la tardor. Episodis puntuals de pluja intensa poden afectar el drenatge de la instal·lació i incrementar el risc d'acumulació d'aigua en zones exteriors. La Figura 1.6 mostra la variació anual del percentatge de dies amb precipitació, evidenciant la irregularitat pluviomètrica pròpia del clima mediterrani.

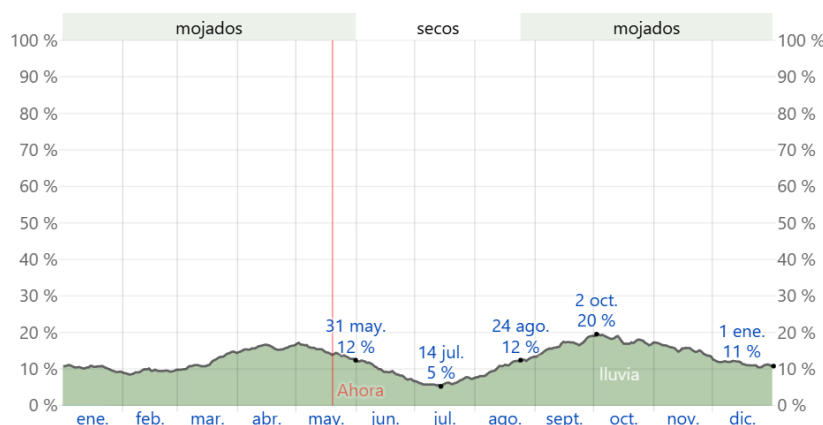


Figura 1.6. Tendència de pluja a Tarragona [1]

Humitat

La humitat relativa es manté moderada-alta durant gran part de l'any a causa de la influència marítima del Mediterrani. Segons les dades disponibles, les condicions passen de seques a l'hivern a notablement humides i boiïoses durant l'estiu, amb valors que poden superar el 60–70% del temps en condicions humides o boïornoses al voltant d'agost. Aquesta humitat elevada pot afavorir processos de corrosió en equips i estructures, especialment en períodes càlids. La Figura 1.7 mostra la variació anual de les condicions d'humitat, evidenciant l'augment dels nivells humits durant els mesos d'estiu.

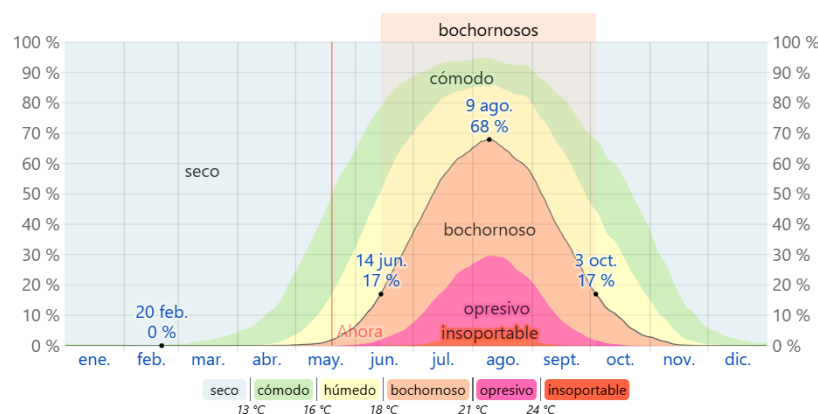


Figura 1.7. Tendència d'humitat a Tarragona [1]

Vent

El règim de vents està condicionat per la influència marina, amb predomini de brises mar-terra durant el dia en períodes càlids i vents de component nord-oest en èpoques hivernals. La velocitat mitjana del vent es manté en valors moderats, tot i que es poden produir episodis puntuals d'intensitat elevada. Aquestes condicions poden influir en la dispersió de possibles emissions a l'atmosfera i en les càrregues laterals sobre estructures i instal·lacions exteriors.

A la Figura 1.8 es representa l'evolució de la velocitat mitjana del vent, on es pot observar la seva variabilitat al llarg del període d'estudi.

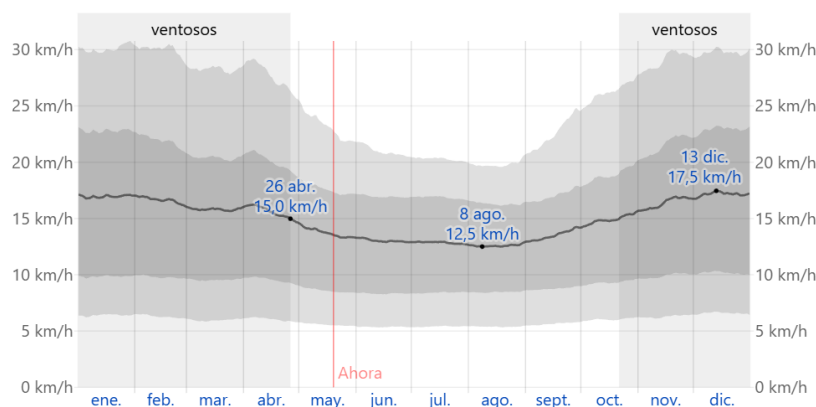


Figura 1.8. Velocitat mitjana del vent a Tarragona [1]

Sismicitat

La zona de Tarragona es classifica com una àrea de sismicitat baixa a moderada dins del context de la península Ibèrica. Tot i la baixa activitat tectònica, poden produir-se episodis sísmics puntuals de baixa intensitat, els quals han de ser considerats en el disseny estructural i de seguretat de la planta industrial, especialment pel que fa a la integritat d'equips i estructures crítiques.

1.1.3.4 Comunicacions i accessibilitat de la planta

La ubicació de la planta al polígon industrial de Gasos Nobles de Tarragona representa un avantatge important des del punt de vista logístic i de connexió amb les principals infraestructures de transport. Aquesta situació dins d'un dels nuclis petroquímics més rellevants del sud d'Europa facilita tant l'abastament continu de matèries primeres com la distribució eficient del formaldehid produït.

La integració de la planta en aquest entorn industrial permet una connexió directa amb xarxes de transport ben desenvolupades, fet que incrementa la competitivitat del projecte i redueix costos logístics.

A continuació, s'avaluen les diferents vies de comunicació disponibles a l'entorn de la planta, analitzant les infraestructures viàries, ferroviàries, aèries i marítimes més properes. Aquest estudi permet determinar el grau d'accessibilitat de la instal·lació i la seva capacitat per donar resposta a les necessitats logístiques del procés productiu, tant pel que fa a l'entrada de matèries primeres com a la sortida del producte final.

Comunicació viària

El transport per carretera és el principal mitjà de moviment de mercaderies en aquesta zona, gràcies a la presència de vies ràpides que connecten Tarragona amb els principals centres industrials i logístics del territori [2].

Entre les infraestructures més destacades es troben:

- **AP-7:** constitueix l'eix principal del Corredor Mediterrani, connectant Tarragona amb Barcelona, València i la frontera francesa. Es tracta d'una via estratègica per al transport de mercaderies a escala nacional i internacional, amb una elevada capacitat logística.
- **A-7:** autovia paral·lela a la costa que actua com a alternativa a l'AP-7 en diversos trams. Dona servei als principals polígons industrials i nuclis urbans del litoral mediterrani, facilitant la distribució regional.
- **C-32:** autopista de peatge que connecta Barcelona amb El Vendrell seguint el litoral del Garraf. Aquesta infraestructura millora la connexió entre Tarragona i l'àrea metropolitana de Barcelona, especialment en desplaçaments cap al nord del litoral.
- **T-11:** via de comunicació clau que enllaça el polígon petroquímic amb la ciutat de Tarragona i amb les grans infraestructures viàries com l'AP-7, facilitant la mobilitat interna i l'accés directe a la planta.
- **N-340:** carretera estatal que discorre paral·lela a la costa mediterrània i que connecta Tarragona amb Barcelona i altres municipis del litoral, amb un paper destacat en el trànsit local i regional.
- **N-240:** via que connecta el litoral amb l'interior peninsular, facilitant la comunicació amb zones industrials de Lleida i Aragó, així com amb l'eix logístic cap a Saragossa.

En conjunt, aquesta xarxa d'infraestructures garanteix una elevada accessibilitat a la planta, permetent una distribució eficient dels productes químics i assegurant una connexió òptima amb els principals mercats nacionals i europeus.



Figura 1.9. Comunicació viària a Tarragona

Comunicació ferroviària

El sistema ferroviari de la zona de Tarragona proporciona una alternativa complementària al transport per carretera, especialment útil per a determinats fluxos logístics i de passatgers.

La ciutat disposa de connexions amb la xarxa ferroviària catalana i espanyola, que uneixen Tarragona amb Barcelona, València i altres punts estratègics. A més, el desenvolupament del corredor mediterrani reforça la connexió amb el sud de França i la resta d'Europa, consolidant aquest eix com una via logística de gran importància.

Un element destacat és la proximitat de l'estació d'alta velocitat de Camp de Tarragona, que connecta amb Madrid, Barcelona i altres grans ciutats, integrant la regió en la xarxa d'alta velocitat estatal.

Tot i això, en el cas de productes químics com el formaldehid, el ferrocarril no és habitual com a principal mitjà de transport, prioritzant-se generalment la carretera i el transport marítim per qüestions operatives i de flexibilitat.



Figura 1.10. Comunicació ferroviària a Tarragona [3]

Comunicació aèria

En l'àmbit del transport aeri, la planta es beneficia de la proximitat de dues infraestructures aeroportuàries importants.

L'aeroport de Aeroport de Reus es troba a curta distància i ofereix principalment vols europeus, mentre que l'aeroport de Aeroport Josep Tarradellas Barcelona-El Prat actua com a principal hub internacional de Catalunya.

Aquest tipus de transport no és adequat per al moviment massiu de productes químics, però sí que pot resultar útil per a desplaçaments de personal, visites tècniques o enviaments puntuals de mostres i documentació comercial.



Figura 1.11. Comunicació aèria Tarragona [4]

Comunicació marítima

El transport marítim és especialment rellevant en el cas de la planta, ja que permet el moviment de grans volums de matèries primeres i producte final a costos competitius.

El principal punt d'exportació i importació és el Port de Tarragona, que destaca per la seva especialització en trànsit de productes químics i petroquímics. La seva connexió directa amb el polígon industrial facilita enormement les operacions logístiques.

De manera complementària, el Port de Barcelona amplia les possibilitats comercials a escala internacional, amb una gran capacitat d'operació i connexions amb múltiples mercats globals.

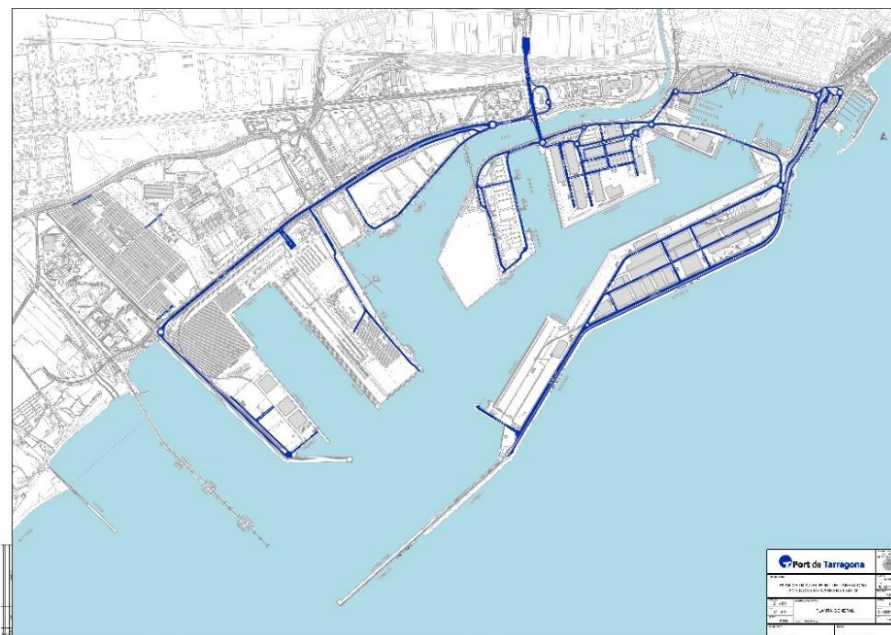


Figura 1.12. Comunicació marítima a Tarragona [5]

1.1.4. Abreviacions

En aquest apartat es recull la nomenclatura emprada a la planta MF, amb la finalitat de facilitar la identificació de les diferents àrees de procés, equips i corrents implicats en la producció de formaldehid al 37% en pes a partir de metanol i aire. Aquesta codificació permet una interpretació més clara dels diagrames de procés, plànols i documentació tècnica desenvolupada al llarg del projecte.

A continuació, es mostren les diferents àrees de la planta i la seva funció principal.

Taula 1.3. Nomenclatura de les àrees.

Àrea	Descripció
A-100	Emmagatzematge de metanol
A-200	Reacció
A-300	Absorció i obtenció de formaldehid
A-400	Emmagatzematge de producte final
A-500	Recepció + Mostres Laboratori
A-600	Balsa contra Incendis i estació bombament
A-700	Utilities
A-800	Zona de control
A-900	Taller i Manteniment
A-1000	Oficines
A-1100	Vestuari
A-1200	Menjador + Sala d'estar
A-1300	Laboratori
A-1400	Zona d'espera per camions per carregar i descarregar
A-1500	Pàrquing

Seguidament, es presenta la nomenclatura utilitzada per identificar els principals equips de procés i auxiliars de la planta.

Taula 1.4. Nomenclatura equips

Lletra	Equip
TE	Tanc d'emmagatzematge
E	Bescanviador de calor
R	Reactor
C	Columna d'absorció
K	Compressor
P	Bomba
V	Vàlvula
FI	Filtre
M	Mesclador
CH	Chiller
N	Dipòsit de nitrogen
IC	Instrumentació i control

Per tal d'identificar les diferents substàncies i corrents simples presents al procés, s'assigna un número de referència.

Taula 1.5. Nomenclatura substàncies.

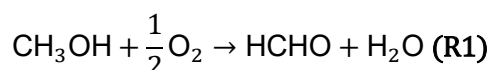
Dígit	Fluid
1	Metanol
2	Aire
3	Formaldehid
4	Aigua
5	Oxigen
6	Nitrogen
7	Vapor d'aigua
8	Gasos residuals
9	Solució de formaldehid al 37%

1.2. Característiques dels compostos implicats en el procés

La producció de formaldehid al 37% es duu a terme mitjançant l'oxidació catalítica del metanol amb aire en presència d'un catalitzador d'òxids metàl·lics de ferro i molibdè, seguint el procés industrial Formox. Aquest procés permet obtenir formaldehid amb elevades conversions i selectivitats mitjançant un control estricte de la temperatura d'operació.

El disseny de la planta s'ha realitzat treballant a temperatures moderades per tal d'evitar la formació de reaccions secundàries d'oxidació completa del metanol i del formaldehid, les quals donarien lloc principalment a la formació de monòxid de carboni i diòxid de carboni. D'aquesta manera, es maximitza la selectivitat cap al formaldehid i es minimitza la generació de subproductes no desitjats.

La reacció principal que té lloc és la següent:



Es tracta d'una reacció exotèrmica, motiu pel qual és necessari incorporar sistemes de refrigeració i control tèrmic per mantenir l'estabilitat del reactor i garantir la selectivitat cap al formaldehid. El catalitzador Fe–Mo afavoreix l'oxidació parcial selectiva del metanol, permetent elevats rendiments de formaldehid amb una baixa formació de compostos d'oxidació total. Els compostos implicats en el procés són les matèries primeres (metanol i oxigen de l'aire), el catalitzador Fe–Mo i els productes obtinguts, principalment formaldehid i aigua.

1.2.1. Matèries primeres

1.2.1.1. Metanol (CH₃OH)

El metanol, també conegut com alcohol metílic, és l'alcohol més simple. Es presenta com un líquid incolor, molt volàtil, inflamable i completament miscible amb aigua, amb una olor lleugerament similar a l'etanol.

Es tracta d'una substància altament tòxica, amb efectes perillosos per ingestió, inhalació i contacte prolongat amb la pell, ja que pot causar danys greus en òrgans. Per aquest motiu, està classificat com a substància perillosa amb pictogrames de inflamabilitat (GHS02), toxicitat aguda (GHS06) i perill per a la salut (GHS08) [6].



Figura 1.13. Pictograma seguretat de metanol.

A nivell industrial, s'utilitza principalment com a matèria primera en la producció de formaldehid, àcid acètic, combustibles sintètics i diversos dissolvents.

En el procés dissenyat, el metanol constitueix la principal matèria primera reactiva i s'alimenta en fase vaporitzada al reactor.

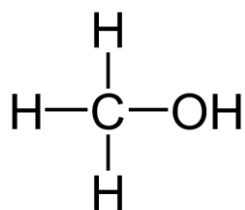


Figura 1.14. Estructura molecular del metanol.

A continuació es mostren les propietats físiques principals del metanol.

Taula 1.6. Propietats físiques del metanol [7].

Propietat	Valor
Fórmula molecular	CH ₃ OH
Massa molecular (g/mol)	32.04
Punt d'ebullició (°C)	64.7
Punt de fusió (°C)	-97.6
Densitat a 20 °C (kg/m ³)	792
Pressió de vapor a 20 °C (kPa)	12.8
Temperatura d'autoignició (°C)	464
Punt d'inflamació (°C)	11
Solubilitat en aigua	Totalment miscible

1.2.1.2. Oxigen molecular (O₂)

L'oxigen molecular (O₂) és un gas diatòmic incolor, inodor i insípid que es troba a l'atmosfera terrestre en aproximadament un 21% en volum.

L'oxigen està classificat com a gas oxidant (GHS03) i es subministra habitualment en forma de gas comprimit (GHS04). És un agent fortament oxidant i pot intensificar significativament el risc d'incendi quan es troba en contacte amb substàncies inflamables, especialment a temperatures elevades [6].

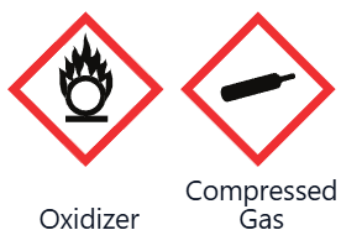


Figura 1.15. Pictogrames de seguretat de l'oxigen.

En aquest procés, l'oxigen necessari per a la reacció s'introdueix mitjançant aire comprimit. La seva funció és actuar com a agent oxidant per permetre l'oxidació parcial del metanol i la formació de formaldehid.

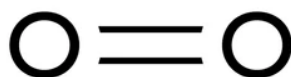


Figura 1.16. Estructura molecular de l'oxigen.

A continuació es mostren les propietats físiques principals de l'oxigen molecular.

Taula 1.7. Propietats físiques de l'oxigen molecular [7].

Propietat	Valor
Fórmula molecular	O ₂
Massa molecular (g/mol)	32.00
Punt d'ebullició (°C)	-183
Punt de fusió (°C)	-218.8
Densitat a 0 °C i 1 atm (kg/m³)	1.429
Solubilitat en aigua a 20 °C (mL/100 mL)	3.1
Color	Incolor
Olor	Inodor

1.2.2. Inerts

1.2.2.1. Nitrogen (N₂)

En el procés de producció de formaldehid, s'utilitzen gasos inerts principalment per garantir la seguretat operativa i evitar atmosferes inflamables dins de la planta. El gas inert més habitual és el nitrogen (N₂), que s'utilitza en diferents etapes del procés.

La seva funció principal és la inertització de tancs d'emmagatzematge de matèries primeres i producte, així com el purgat de línies i equips abans de tasques de manteniment o arrencada/aturada de la planta. D'aquesta manera, es redueix el risc de formació de mescles explosives entre el metanol i l'oxigen de l'aire.

El nitrogen és un gas estable, no reactiu i no inflamable, fet que el converteix en el gas inert més utilitzat a nivell industrial. En aquest projecte, es subministra habitualment des de xarxa o bé mitjançant un sistema de generació in situ.



Figura 1.17. Estructura molecular nitrogen

A continuació es mostren les propietats físiques principals del nitrogen.

Taula 1.8. Propietats físiques del nitrogen [7].

Propietat	Valor
Fórmula molecular	N ₂
Massa molecular (g/mol)	28.01
Punt d'ebullició (°C)	-195.8
Punt de fusió (°C)	-210
Densitat a 0 °C i 1 atm (kg/m ³)	1.25
Color	Incolor
Olor	Inodor

1.2.3. Catalitzadors

1.2.3.1. Catalitzador $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$

El procés Formox utilitza un catalitzador basat en òxids metàl·lics de ferro i molibdè (Fe–Mo), sent la fase activa principal el molibdat fèrric, de fórmula química $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$.

Aquest catalitzador presenta una elevada activitat i selectivitat cap a la formació de formaldehid a partir de l'oxidació parcial del metanol. Industrialment, la relació molar entre molibdè i ferro es troba habitualment entre 2.5 i 3, fet que permet millorar l'estabilitat del catalitzador i augmentar la selectivitat del procés [8]

El catalitzador treballa a temperatures moderades, habitualment entre 250 i 400 °C, condicions que minimitzen les reaccions secundàries d'oxidació completa. A més, els catalitzadors Fe–Mo presenten una elevada estabilitat tèrmica i una llarga vida útil industrial. A continuació es mostren les propietats físiques principals del catalitzador Fe–Mo.

Taula 1.9. Propietats físiques del catalitzador Fe–Mo [8]

Propietat	Valor
Fase activa	$\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$
Components principals	Òxids de ferro i molibdè
Relació molar Mo/Fe	2.5 – 3
Estat físic	Sòlid granular
Color	Verd-groguenc
Temperatura operativa (°C)	250 – 400
Densitat aparent (kg/m^3)	900 – 1200
Estabilitat tèrmica	Elevada

1.2.4. Productes

1.2.4.1. Formaldehid (CH_2O)

El formaldehid (CH_2O) és el producte principal obtingut en el procés. Es tracta del compost orgànic aldehydic més simple i, a temperatura ambient, es presenta com un gas incolor amb una olor molt penetrant i irritant.

És una substància altament reactiva, corrosiva i tòxica, amb efectes nocius per inhalació, contacte amb la pell o ingestió. Per aquest motiu, està classificat amb pictogrames de toxicitat aguda (GHS06), perill per a la salut (GHS08) i corrosió (GHS05). A causa de la seva perillositat, industrialment es comercialitza habitualment dissolt en aigua, en forma de formalina amb una concentració aproximada del 37% [6]



Figura 1.18. Pictograma de seguretat del formaldehid

A nivell industrial, és una substància de gran importància com a intermedi químic en la fabricació de resines, adhesius, plàstics i altres productes químics.

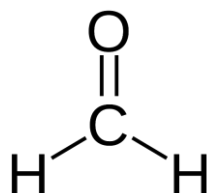


Figura 1.19. Estructura molecular del formaldehid.

A continuació es mostren les propietats físiques principals del formaldehid.

Taula 1.10. Propietats físiques del formaldehid [7].

Propietat	Valor
Fórmula molecular	CH ₂ O
Massa molecular (g/mol)	30.03
Punt d'ebullició (°C)	-19
Punt de fusió (°C)	-92
Densitat gasosa (kg/m ³)	0.815
Solubilitat en aigua	Molt elevada
Temperatura d'autoignició (°C)	430
Color	Incolor
Olor	Penetrant i irritant

1.2.4.2. Aigua (H₂O)

L'aigua és el principal subproducte generat durant la reacció d'oxidació del metanol. També s'utilitza posteriorment en l'etapa d'absorció per obtenir la dissolució comercial de formaldehid al 37%.

És una substància fonamental dins la planta, tant com a medi d'absorció com per als serveis auxiliars de refrigeració i producció de vapor.

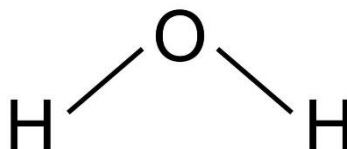


Figura 1.20. Estructura molecular de l'aigua.

A continuació es mostren les propietats físiques principals de l'aigua.

Taula 1.11. Propietats físiques de l'aigua [7].

Propietat	Valor
Fórmula molecular	H ₂ O
Massa molecular (g/mol)	18.02
Punt d'ebullició (°C)	100
Punt de fusió (°C)	0
Densitat a 20 °C (kg/m ³)	998
Calor específica (kJ/kg·K)	4.18
Pressió de vapor a 100 °C (kPa)	101.3

1.2.5. Aplicacions del formaldehid

El formaldehid és un dels compostos químics de major importància dins la indústria química, degut a la seva elevada reactivitat i versatilitat com a intermedi de síntesi. Les seves principals aplicacions industrials es poden dividir en els següents sectors [8]:

Producció de resines

La principal aplicació del formaldehid és la fabricació de resines urea-formaldehid, fenol-formaldehid i melamina-formaldehid. Aquestes resines s'utilitzen àmpliament en adhesius, aglomerats de fusta, contraplacats i recobriments.

Indústria de la construcció

El formaldehid s'utilitza en la producció de materials aïllants, escumes i panells de fusta premsada emprats en mobiliari i construcció.

Indústria química

Actua com a intermedi en la síntesi de nombrosos compostos químics com pentaeritritol, hexametilentetramina, àcid fòrmic i diferents productes farmacèutics.

Altres aplicacions

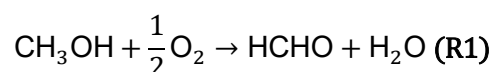
També s'utilitza com a desinfectant, conservant biològic i en formulacions per a la indústria tèxtil, paperera i agrícola.

1.3. Obtenció de formaldehid

La producció de formaldehid és una de les operacions industrials més importants dins del sector químic, ja que aquest compost és una matèria primera clau en la fabricació de resines, adhesius, plàstics i múltiples intermedis químics. Industrialment, la seva obtenció es realitza principalment a partir de l'oxidació catalítica del metanol en fase gasosa utilitzant aire com a agent oxidant.

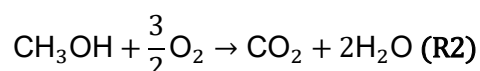
1.3.1. Reaccions químiques principals

La reacció principal del procés és l'oxidació parcial del metanol:

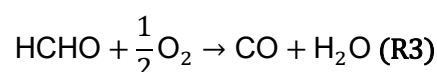


Les principals reaccions secundàries possibles són:

- Oxidació completa:



- Oxidació del formaldehid:



Aquestes reaccions secundàries es veuen afavorides principalment a temperatures elevades, generalment superiors als 400 °C, ja que l'augment de temperatura incrementa la velocitat de les reaccions d'oxidació completa. Com a conseqüència, augmenta la formació de subproductes com CO i CO₂, reduint el rendiment i la selectivitat cap al formaldehid.

En el disseny d'aquesta planta, el reactor s'opera a una temperatura controlada per sota d'aquest rang crític, assegurant que la reacció principal d'oxidació parcial del metanol sigui clarament dominant i minimitzant la formació de subproductes no desitjats.

1.3.2. Selecció del procés industrial

La producció industrial de formaldehid a partir de metanol i aire es duu a terme principalment mitjançant processos d'oxidació catalítica. Actualment, existeixen tres tecnologies industrials principals per a l'obtenció de formaldehid: el procés BASF amb catalitzador de plata, el procés Dynea i el procés Formox.

Tots tres processos tenen com a objectiu transformar el metanol en formaldehid mitjançant reaccions d'oxidació parcial, però es diferencien principalment pel tipus de catalitzador emprat, les condicions d'operació, la selectivitat del procés, l'eficiència energètica i la formació de productes secundaris [9].

1.3.2.1. Procés BASF

El procés BASF, també conegut com a procés de plata, va ser el primer mètode desenvolupat industrialment per a la producció de formaldehid i continua sent utilitzat en algunes instal·lacions de gran capacitat. En aquest procés s'utilitza un catalitzador metàl·lic de plata, generalment en forma de malla o cristalls suportats, que actua afavorint tant la deshidrogenació com l'oxidació parcial del metanol.

Aquest procés opera a temperatures molt elevades, habitualment entre 600 i 720 °C, i a pressions properes a l'atmosfèrica. Les altes temperatures permeten obtenir velocitats de reacció molt elevades i temps de residència reduïts. A més, la plata presenta una elevada activitat catalítica i una bona resistència tèrmica.

No obstant això, aquestes condicions extremes també comporten diversos inconvenients. A temperatures tan elevades es veuen afavorides les reaccions secundàries d'oxidació total del formaldehid i del metanol, generant monòxid de carboni i diòxid de carboni.

La formació d'aquests subproductes redueix la selectivitat cap al formaldehid i incrementa el consum de matèria primera. A més, el control tèrmic del reactor és més complex a causa de l'elevada exotèrmica del procés, existint risc de formació de punts calents que poden provocar la desactivació del catalitzador.

Un altre inconvenient important és l'elevat consum energètic associat a les temperatures d'operació, així com la necessitat d'utilitzar equips capaços de suportar condicions tèrmiques severes [10].

1.3.2.2. Procés Dynea

El procés Dynea representa una evolució dels processos basats en catalitzadors d'òxids metàl·lics. Aquesta tecnologia es desenvolupa amb l'objectiu de millorar l'eficiència energètica, augmentar la selectivitat i reduir la formació de subproductes respecte als processos amb plata.

El procés utilitza catalitzadors basats principalment en òxids de ferro i molibdè, similars als emprats en el procés Formox, encara que amb modificacions en la composició del catalitzador i en la configuració del reactor per optimitzar la transferència de calor i la distribució dels reactius.

Aquest procés treballa a temperatures moderades, habitualment entre 250 i 350 °C, molt inferiors a les del procés BASF. Aquestes condicions permeten reduir considerablement les reaccions secundàries d'oxidació completa i, per tant, augmentar la selectivitat cap al formaldehid.

Els catalitzadors de ferro-molibdè presenten una elevada estabilitat química i tèrmica, així com una bona resistència davant la desactivació. El molibdè afavoreix l'activitat oxidant del catalitzador mentre que el ferro contribueix a l'estabilitat estructural i mecànica. La combinació d'ambdós òxids genera superfícies actives molt selectives per a l'oxidació parcial del metanol.

El procés Dynea destaca també per la seva elevada integració energètica, ja que la calor generada pot ser aprofitada per produir vapor o alimentar altres serveis auxiliars de planta. Tot i això, la tecnologia presenta una major complexitat operativa i de disseny respecte a altres alternatives, especialment en sistemes de recuperació de calor i control de temperatura [11].

1.3.2.3. Procés FORMOX

El procés Formox és actualment la tecnologia més utilitzada a nivell mundial per a la producció industrial de formaldehid. Va ser desenvolupat conjuntament per les empreses Perstorp i Formaldehyde Oxidation (d'on deriva el nom "Formox") i s'ha consolidat com el procés de referència gràcies a la seva elevada eficiència i fiabilitat [9].

Aquest procés es basa en l'oxidació parcial del metanol amb aire sobre un catalitzador d'òxids metàl·lics de ferro i molibdè (Fe-Mo).

Els catalitzadors Fe-Mo constitueixen un dels aspectes més importants del procés. Aquests materials presenten una elevada selectivitat cap al formaldehid gràcies a la naturalesa de les seves superfícies actives. El molibdè actua com a fase activa principal en l'oxidació parcial del metanol, mentre que el ferro proporciona estabilitat estructural, resistència mecànica i contribueix a mantenir la dispersió del molibdè sobre la superfície catalítica [12][13].

A diferència del procés BASF, el procés Formox opera a temperatures moderades, generalment entre 250 i 400 °C. Aquest fet permet minimitzar la formació de reaccions secundàries i obtenir rendiments molt elevats de formaldehid. A més, el treball a temperatures inferiors facilita el control tèrmic del reactor i redueix significativament el risc de desactivació del catalitzador.

Una de les característiques principals del procés Formox és l'ús de reactors multitubulars refrigerats. A causa del caràcter fortament exotèrmic de la reacció, és necessari extreure calor de manera contínua per mantenir una temperatura homogènia al reactor i evitar punts calents. Aquest disseny permet controlar de manera molt eficient la temperatura i garantir una elevada selectivitat.

Com a inconvenient principal, el procés requereix sistemes eficients de refrigeració i control de temperatura a causa de l'elevada exotèrmia de la reacció. Tanmateix, aquesta dificultat queda àmpliament compensada pels avantatges operatius i econòmics del procés.

1.3.2.4. Selecció del procés industrial

Per al present projecte s'ha seleccionat el procés Formox per a la producció de formaldehid a partir de metanol i aire.

Els principals avantatges del procés Formox són:

- Elevada selectivitat cap al formaldehid.
- Menor formació de CO i CO₂.
- Menor consum energètic.
- Condicions d'operació moderades.
- Elevada estabilitat i vida útil del catalitzador.
- Major seguretat operativa.
- Facilitat de control tèrmic.
- Àmplia implantació industrial i elevada fiabilitat tecnològica.

La selecció d'aquest procés es fonamenta principalment en la seva elevada selectivitat cap al formaldehid i en la reduïda formació de productes secundaris. Les temperatures moderades d'operació permeten treballar en condicions més segures i amb un millor control tèrmic del reactor, reduint així els riscos associats a punts calents i desactivació del catalitzador. La menor producció de CO i CO₂ també comporta una millora ambiental significativa i una millor eficiència en l'aprofitament del metanol.

A més, els catalitzadors de ferro-molibdè utilitzats en el procés Formox presenten una elevada estabilitat i una llarga vida útil, fet que disminueix els costos operatius i de manteniment.

Un altre factor determinant és l'ampli ús industrial del procés Formox a escala mundial. Es tracta d'una tecnologia altament consolidada, fiable i àmpliament estudiada, la qual cosa facilita tant el disseny de la planta com l'operació industrial futura.

Per tots aquests motius, el procés Formox es considera l'alternativa més adequada per a la producció de formaldehid en el present projecte.

1.3.3. Condicions operatives del procés

Per a la producció industrial de formaldehid a partir de metanol s'utilitza habitualment un reactor multitubular, ja que aquesta configuració permet gestionar de manera eficient l'elevada exotèrmia associada a l'oxidació catalítica del metanol. Aquest tipus de reactor destaca per la seva elevada superfície d'intercanvi tèrmic, que facilita l'eliminació de la calor generada durant la reacció i ajuda a mantenir un perfil de temperatura estable al llarg del sistema. En aquest projecte, s'ha seleccionat aquesta configuració amb l'objectiu de maximitzar la transferència de calor i assegurar un control rigorós de la temperatura de reacció, fet essencial per garantir una elevada selectivitat cap al formaldehid [14][15].

En aquest context, definir correctament les condicions operatives del reactor és fonamental, ja que es tracta d'un procés altament exotèrmic on la temperatura es converteix en el paràmetre més important. Un control adequat d'aquesta variable és necessari tant per optimitzar la selectivitat del procés com per garantir una operació segura i estable de la planta.

A continuació es mostren les condicions operatives principals:

Taula 1.12. Condicions operatives del procés.

Paràmetre	Valor	Unitats
Producte	Formaldehid 37%	—
Producció	4672	kg/h
Conversió	93	%
Pressió de treball	2	atm
Temperatura d'entrada	270,15	°C
Temperatura de sortida	306,25	°C
Temperatura màxima	380,51	°C
Volum reactor	11,3	m ³

A l'anterior taula es recull les principals condicions operatives del procés seleccionat per a la producció de formaldehid, basat en la tecnologia Formox amb catalitzador Fe–Mo. Aquestes condicions reflecteixen el compromís entre elevada eficiència de conversió i control tèrmic del reactor, aspecte crític en un procés altament exotèrmic com l'oxidació parcial del metanol.

En primer lloc, la producció especificada de 4672 kg/h de formaldehid al 37% indica una capacitat industrial significativa, coherent amb una planta de producció contínua. Aquesta concentració correspon habitualment a la solució comercial de formalina, que és el producte final habitual en aquest tipus d'instal·lacions.

La conversió del 93% del metanol evidencia l'alta eficiència del sistema catalític Fe–Mo, típic del procés Formox, i confirma la seva elevada selectivitat cap al formaldehid en condicions de temperatura moderada. Aquest valor és especialment rellevant, ja que una conversió elevada redueix el reciclatge de metanol i millora l'eficiència global de la planta.

Pel que fa a les condicions de pressió, s'ha escollit un valor de 2 atm com un equilibri entre una lleugera pressió extra al sistema, que ajuda a millorar el flux i el contacte entre el gas i el sòlid dins del catalitzador, i la necessitat de mantenir un consum d'energia baix en el procés de compressió, d'acord amb criteris d'eficiència energètica.

Les temperatures d'operació (270,15 °C a l'entrada i 306,25 °C a la sortida) reflecteixen el caràcter fortament exotèrmic de la reacció. L'augment de temperatura al llarg del reactor és normal i confirma l'alliberament de calor associat a l'oxidació del metanol. No obstant això, el valor de temperatura màxima (380,51 °C) és especialment important, ja que és el punt més alt que s'assoleix dins del reactor i serveix com a control per assegurar que no s'iniciïn reaccions secundàries d'oxidació completa. Gràcies al sistema de refrigeració i al disseny multitubular, aquesta temperatura màxima es manté controlada i no es superen condicions en què aquestes reaccions secundàries es tornin significatives, evitant així la formació de subproductes i mantenint una alta selectivitat del procés.

Finalment, el volum del reactor (11,3 m³) és coherent amb la capacitat de producció especificada i amb els valors típics de temps de residència en processos catalítics gas-sòlid d'aquest tipus. La configuració multitubular permet, a més, maximitzar la superfície d'intercanvi tèrmic, assegurant un control eficient de la temperatura i garantint l'estabilitat operativa del sistema.

En conjunt, les condicions operatives definides a la Taula 1.12 mostren un disseny equilibrat entre rendiment, selectivitat i seguretat operativa, característic de la tecnologia Formox en aplicacions industrials modernes.

1.3.4. Cinètica i control de reaccions secundàries

La cinètica de reacció i el control de la temperatura són aspectes crítics en el disseny i operació industrial del procés d'obtenció de formaldehid a partir de metanol. Es tracta d'un sistema catalític altament exotèrmic, en el qual petites variacions de temperatura poden tenir un impacte molt significatiu tant en la velocitat de reacció com en la selectivitat cap al producte desitjat. Per aquest motiu, el coneixement detallat de la cinètica global del procés i del comportament del catalitzador és essencial per garantir un funcionament segur, estable i eficient del reactor.

1.3.4.1. Cinètica de la reacció d'oxidació del metanol

La cinètica de la producció de formaldehid s'ha estudiat extensament en la literatura, sent una de les referències clàssiques la recopilació de models cinètics recollits a *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* [9]. En aquests models es descriu la reacció com un sistema de tipus oxidació parcial en fase gasosa sobre catalitzador sòlid, on la velocitat de reacció depèn principalment de la concentració de metanol, oxigen i de la temperatura del sistema.

De forma simplificada, la reacció principal segueix un comportament tipus LHHW (Langmuir-Hinshelwood-Hougen-Watson), en el qual tant el metanol com l'oxigen s'adsorbeixen sobre els centres actius del catalitzador abans de reaccionar. Això implica que la velocitat de reacció no només depèn de les concentracions en fase gasosa, sinó també del grau de cobertura superficial del catalitzador.

Segons els models cinètics descrits a Ullmann, la velocitat de formació de formaldehid augmenta de manera significativa amb la temperatura dins del rang operatiu habitual (250–400 °C). No obstant això, aquest increment no és lineal pel que fa a la selectivitat, ja que temperatures elevades afavoreixen també reaccions paral·leles no desitjades, especialment l'oxidació completa del metanol i del formaldehid.

A més, la cinètica està fortament influenciada per la relació metanol/oxigen. Un excés d'oxigen tendeix a incrementar la velocitat global de reacció però també augmenta la probabilitat de formació de CO i CO₂, mentre que un excés de metanol pot limitar la conversió global del sistema.

1.3.4.2. Catalitzador $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ i comportament catalític

El catalitzador utilitzat en el procés industrial és el molibdat de ferro, $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$, típic dels processos tipus Formox. Aquest material és el responsable de l'elevada selectivitat del procés cap al formaldehid.

El mecanisme catalític es basa en un cicle redox entre les espècies de ferro i molibdè. El molibdè actua com a fase activa principal, facilitant l'oxidació parcial del metanol adsorbit, mentre que el ferro contribueix a regenerar l'estat oxidat del molibdè mitjançant la transferència d'oxigen de la fase gasosa. Aquest mecanisme redox permet mantenir una activitat catalítica contínua sense necessitat d'oxidants externs diferents de l'oxigen present a l'aire.

Un dels principals avantatges d'aquest catalitzador és la seva elevada selectivitat, que permet assolir valors superiors al 90% en condicions òptimes d'operació. Aquesta selectivitat és conseqüència directa de l'energia d'activació diferenciada entre la reacció desitjada (oxidació parcial a formaldehid) i les reaccions d'oxidació completa, que es veuen menys afavorides en el rang de temperatura de treball habitual [12] [13].

Pel que fa a l'estabilitat, el catalitzador $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$ presenta una bona resistència tèrmica i mecànica, però amb el temps experimenta fenòmens de desactivació progressiva. Aquesta desactivació es deu principalment a la sinterització de la fase activa, la pèrdua de superfície específica i la possible acumulació de dipòsits superficials (coking lleu i subproductes oxidats).

En condicions industrials, la vida útil del catalitzador es troba habitualment en un rang d'entre 6 i 18 mesos d'operació contínua. Aquesta vida útil pot variar en funció de les condicions operatives, especialment de la temperatura i de la qualitat dels corrents d'alimentació, que influeixen directament en els mecanismes de desactivació del catalitzador. En aquest projecte es garanteix el seu ús durant 12 mesos d'operació contínua. Finalitzat aquest període, es preveu la seva substitució aprofitant la parada programada de la planta, de manera que es minimitzin els temps d'aturada i l'impacte sobre la producció [16].

1.3.4.3. Control reaccions secundaries

Les reaccions secundàries més importants del procés són l'oxidació completa del metanol i del formaldehid, que produeixen $\text{CO}(\text{R3})$ i $\text{CO}_2(\text{R3})$:

Aquestes reaccions es donen sobretot a temperatures altes i quan hi ha excés d'oxigen. Per això, el factor més important per evitar-les és el control de la temperatura del reactor.

En aquest projecte, el control de les reaccions secundàries es basa principalment en mantenir una temperatura ben controlada dins del reactor multitubular. Com s'ha comentat anteriorment, hi ha una temperatura màxima crítica d'uns $380\text{ }^{\circ}\text{C}$, per sota de la qual es redueix molt la formació de reaccions secundàries.

Per això, es garanteix que el reactor treballi sempre per sota d'aquesta temperatura, assegurant així que es produeixi principalment la reacció desitjada d'oxidació parcial del metanol cap a formaldehid.

D'aquesta manera, el control de la temperatura permet evitar la formació de subproductes i mantenir una alta selectivitat del procés.

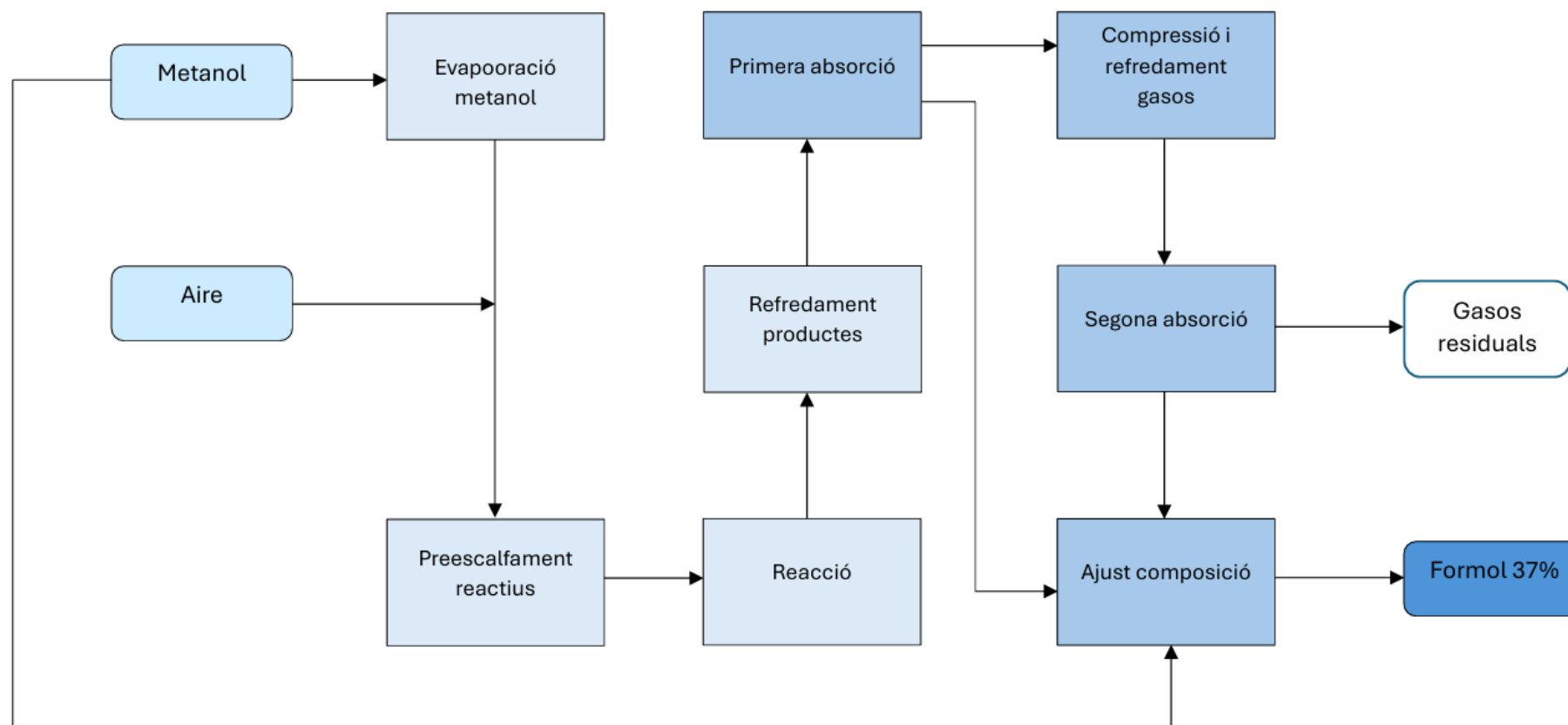
1.4. Descripció del procés

En aquest apartat es descriu de manera general el procés de producció de formaldehid al 37% a partir de metanol i aire, desenvolupat per a la planta MF. S'hi presenten les diferents etapes que conformen el procés industrial, així com la seva seqüència operativa i la funció principal de cadascuna de les unitats de procés.

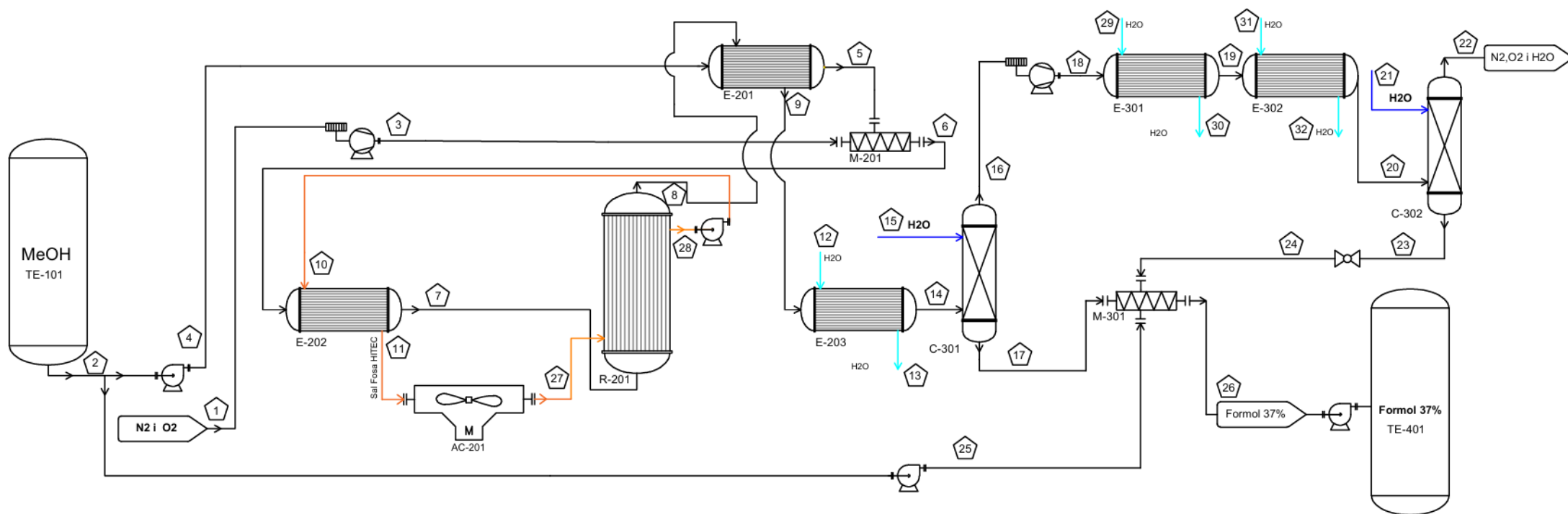
L'objectiu d'aquesta secció és proporcionar una visió global del funcionament de la planta, facilitant la comprensió dels corrents principals de matèria i de les operacions implicades en la transformació de les matèries primeres fins a l'obtenció del producte final.

A continuació, es mostra el diagrama de blocs del procés, el qual permet representar de manera simplificada les principals etapes de producció i la interrelació entre les diferents operacions unitàries. Posteriorment, es presenta el diagrama de flux de procés (*Process Flow Diagram*, PFD), on es detallen els equips principals, els corrents de procés i les condicions operatives més rellevants.

1.4.1. Diagrama de blocs



1.4.2. Diagrama de procés (PFD)



1.4.3. Descripció del procés

El procés de producció de formaldehid al 37% a partir de l'oxidació catalítica del metanol amb aire es desenvolupa a través de les àrees A-100, A-200, A-300 i A-400 de la planta MF. El procés es basa en la tecnologia Formox, àmpliament utilitzada industrialment per a l'obtenció de formaldehid degut a la seva elevada selectivitat i eficiència energètica.

A continuació es descriu el procés detalladament segons les àrees de reacció.

1.4.3.1. Emmagatzematge de matèries primeres (A-100)

L'àrea A-100 està destinada a l'emmagatzematge i subministrament de metanol, matèria primera principal del procés. Per garantir la continuïtat operativa de la planta i proporcionar flexibilitat davant possibles incidències logístiques, es disposa de quatre tancs d'emmagatzematge identificats com T-101 a T-104.

Cada tanc ha estat dimensionat per contenir aproximadament el consum diari de metanol de la planta. Considerant un límit màxim d'ompliment del 90% per criteris de seguretat operacional, la capacitat útil de cada unitat és de 155 m³, proporcionant conjuntament una autonomia aproximada de quatre dies de funcionament continu.

Degut a la naturalesa inflamable del metanol, els tancs incorporen sistemes de ventilació, inertització i control d'emissions adequats per al maneig de compostos orgànics volàtils. Les línies de càrrega i descàrrega han estat dissenyades per minimitzar les pèrdues evaporatives i evitar l'acumulació d'electricitat estàtica.

Des d'aquesta àrea, el metanol és impulsat mitjançant bombes cap a la secció de reacció, on és sotmès a les operacions de condicionament tèrmic necessàries abans de la seva transformació química.

1.4.3.2. Reacció (A-200)

L'àrea A-200 constitueix el nucli productiu de la planta, ja que és on té lloc la conversió del metanol en formaldehid. Aquesta secció integra les operacions d'evaporació, mescla, preescalfament i reacció, incorporant diversos mecanismes de recuperació energètica amb l'objectiu de reduir el consum global de serveis auxiliars.

Evaporació i recuperació de calor

El metanol líquid procedent de l'àrea d'emmagatzematge s'introdueix al bescanviador E-201, on és vaporitzat aprofitant la calor sensible del corrent de productes que abandona el reactor.

Aquesta operació constitueix un dels principals punts d'integració energètica del procés, ja que permet recuperar una part significativa de l'energia alliberada durant la reacció exotèrmica. Com a resultat, el metanol incrementa la seva temperatura des de 25,3 °C fins a 84,3 °C mentre que el corrent de productes es refreda des de 306 °C fins a aproximadament 87 °C.

Mescla dels reactius

El metanol vaporitzat es combina amb aire comprimit en el mesclador estàtic M-201. L'objectiu d'aquesta operació és obtenir una distribució homogènia dels reactius abans de l'entrada al reactor, garantint unes condicions uniformes de concentració i evitant zones localitzades amb excés de combustible o oxidant.

S'ha seleccionat un mesclador estàtic de tipus helicoïdal per la seva elevada eficiència de barreja, baixa necessitat de manteniment i absència de parts mòbils, aspecte especialment rellevant en sistemes que treballen amb corrents inflamables.

Preescalfament dels reactius

Després de la mescla, el corrent de reactius s'envia al bescanviador E-202, on s'escalfa fins a les condicions d'entrada al reactor.

Aquest escalfament es realitza mitjançant un circuit de sal fosa Hitec Salt, que actua com a fluid tèrmic del sistema. Aquesta sal aprofita la calor generada al reactor per preescalfar els reactius, millorant així l'eficiència energètica global del procés.

En aquest equip, els reactius augmenten la seva temperatura de 101,5 °C fins a 270 °C, mentre que la sal es refreda lleugerament de 299,1 °C fins a 294,05 °C. Posteriorment, la sal es condueix a l'air cooler AC-201, on es refreda fins a aproximadament 250 °C abans de ser recirculada al reactor.

Reacció

El reactor R-201 és un reactor multitubular de llit fix refrigerat externament, seleccionat per gestionar l'alta exotermicitat de la reacció d'oxidació del metanol. Opera a 2 atm i utilitza un catalitzador molibdat de ferro, $\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$, característic del procés Formox per la seva alta selectivitat cap a la formació de formaldehid.

La reacció té lloc en fase gasosa dins dels tubs del reactor, mentre que la sal fosa circula pel costat de carcassa, absorbint la calor generada. Aquest sistema permet un control molt precís de la temperatura, evitant punts calents que podrien desactivar el catalitzador o afavorir reaccions secundàries com la formació de monòxid de carboni.

El reactor està format per 4852 tubs de 2 m de longitud i 24,3 mm de diàmetre interior, amb un volum total de 11,3 m³. S'assoleix una conversió de metanol del 93%, amb una temperatura d'entrada de 270 °C, una sortida de 306 °C i una temperatura màxima interna de 380,5 °C.

Recuperació de calor i refredament final

Els productes de reacció surten del reactor a alta temperatura i es retornen al bescanviador E-201, on cedeixen part de la seva energia tèrmica per evaporar el metanol fresc alimentat al procés. Aquesta integració energètica redueix significativament el consum energètic global de la planta.

Finalment, el corrent de productes es refreda addicionalment al bescanviador E-203, utilitzant aigua de xarxa com a refrigerant. En aquest equip, la temperatura disminueix de 86,9 °C fins a 61 °C, condicions adequades per a la seva posterior entrada al sistema d'absorció.

1.4.3.3. Absorció i obtenció de formaldehid (A-300)

L'àrea A-300 té com a objectiu recuperar el formaldehid produït al reactor i obtenir la dissolució comercial requerida. A causa de l'elevada solubilitat del formaldehid en aigua i de la presència de metanol residual recuperable, s'ha adoptat un sistema d'absorció en dues etapes operant en contracorrent.

Aquesta configuració permet maximitzar la recuperació dels compostos d'interès, reduir les emissions atmosfèriques i incrementar el rendiment global del procés.

Primera etapa d'absorció (C-301)

El corrent que prové del reactor està format principalment per formaldehid, aigua, metanol no reaccionat, nitrogen i oxigen. Aquest corrent s'introdueix per la part inferior de la primera columna d'absorció (C-301). Per la part superior de la columna s'introdueix aigua, que actua com a absorbent.

La columna està dissenyada com una torre de rebliment amb anells Pall de 25 mm, una configuració adequada per treballar amb cabals gasosos elevats i amb una baixa caiguda de pressió. La C-301 presenta un diàmetre intern d'1,45 m i una alçada total de rebliment de 6 m.

En aquesta primera etapa s'aconsegueix l'absorció aproximada del 80% del formaldehid present al corrent gasós. Com a resultat, per la part inferior s'obté una dissolució aquosa de formaldehid, metanol i aigua, mentre que per la part superior surt un corrent gasós format per formaldehid, metanol, nitrogen, oxigen i vapor d'aigua.

Tractament del corrent gasós de sortida

Per augmentar la recuperació global del producte, el corrent gasós que surt per capçalera de la C-301 es comprimeix fins aproximadament 1,5 atm i posteriorment es refreda en dues etapes consecutives.

En primer lloc, el corrent passa pel bescanviador E-301, on es refreda de 116,4 °C fins a 40,5 °C utilitzant aigua de xarxa. A continuació, es produeix un refredament addicional a l'E-302 fins a 13,9 °C mitjançant aigua refrigerada procedent d'un chiller.

Aquest refredament incrementa la solubilitat tant del formaldehid com del metanol en fase líquida, fet que afavoreix la seva posterior absorció.

Segona etapa d'absorció (C-302)

L'objectiu principal d'aquesta etapa és recuperar la màxima quantitat possible de formaldehid i metanol residuals abans de l'emissió final del corrent gasós, incrementant així l'eficiència global del procés i reduint les emissions.

El corrent comprimit i refredat s'introdueix per la part inferior de la segona columna d'absorció (C-302), mentre que per la part superior s'alimenta un corrent d'aigua de rentat.

La columna també està dissenyada com una torre de rebliment amb anells Pall de 25 mm, afavorint el contacte gas-líquid amb una baixa pèrdua de càrrega. La C-302 té un diàmetre intern de 0,93 m i una alçada total de rebliment de 7,5 m.

Com a resultat, per la part superior s'obté un corrent gasós format principalment per nitrogen, oxigen i vapor d'aigua que s'expulsen a l'atmosfera, mentre que per la part inferior es recupera una dissolució aquosa de formaldehid i metanol.

Ajust de composició i obtenció del producte final

Els corrents líquids procedents de les dues columnes d'absorció es condueixen al mesclador estàtic M-301, on també s'afegeix metanol fresc per ajustar la composició final del producte comercial.

Aquest mesclador permet obtenir una dissolució estable de formaldehid al 37% amb un contingut aproximat del 10% de metanol, la qual cosa evita la polimerització del formaldehid durant l'emmagatzematge i garanteix l'estabilitat del producte final.

1.4.3.4. Emmagatzematge de producte final (A-400)

L'àrea A-400 correspon a l'emmagatzematge del producte final abans de la seva expedició comercial.

La planta disposa de quatre tancs d'emmagatzematge de formaldehid al 37%, identificats com T-401 a T-404. Per criteris de seguretat operacional, el nivell màxim d'ompliment s'ha limitat al 85% del volum total, resultant en una capacitat útil global de 209 m³. Considerant el cabal de producció de la planta, aquest volum proporciona aproximadament tres dies d'autonomia d'emmagatzematge abans de l'expedició del producte.

Els tancs han estat dissenyats per treballar amb dissolucions aquoses de formaldehid estabilitzades amb metanol, considerant la toxicitat i volatilitat associades a aquests compostos. Per aquest motiu, disposen de sistemes adequats de ventilació, segellat i control d'emissions.

Des d'aquesta àrea, el producte final és bombejat cap a les zones de càrrega i expedició per al seu transport comercial.

1.4.4. Balanç de matèria i comprovació del balanç

En aquest apartat s'avalua el balanç de matèria del procés de producció de la planta MF. L'objectiu principal és determinar i verificar els cabals màssics de totes les corrents implicades en el procés, així com comprovar el balanç global del sistema.

En primer lloc, es presenten els balanços de matèria detallats per a cadascuna de les corrents de procés. A les taules següents es recullen les principals característiques de cada corrent, especificant condicions d'operació, cabal màssic, cabal molar i fraccions molas.

Taula 1.13. Balanç de matèria de cada corrent.

Nº Corrent	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fracció vapor	1	0	1	0	1	1	1	1	0,9297	0	0
Temperatura (Cº)	25	25	115,9	25,05	84,3	104,6	270	306	86,89	299,1	294,1
Pressió (bar)	1,013	1,013	2,1	2,128	2,1	2,1	2,026	1,783	1,734	6	5,938
Cabal Molar (Kmol/h)	532,4	166,8	532,4	166,8	166,8	699,2	699,2	777,1	777,1	4132	4132
Cabal Màssic (kg/h)	15316	5345	15316	5345	5345	20661	20661	20661,58	20661,58	360000	360000
Fracció Màssica											
Metanol	0	1	0	1	1	0,2719	0,2719	0,0174	0,0174	0	0
Formaldehid	0	0	0	0	0	0	0	0,2261	0,2261	0	0
H ₂ O	0	0	0	0	0	0	0	0,1357	0,1357	0	0
N ₂	0,7901	0	0,7901	0	0	0,5752	0,5752	0,5856	0,5856	0	0
O ₂	0,2099	0	0,2099	0	0	0,1529	0,1529	0,0352	0,0352	0	0
Hitec SALT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Nº Corrent	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Fracció vapor	0	0	0,6928	0	1	0	1	0,9116	0,8759	0	1
Temperatura (Cº)	25	40,23	61	25	49,04	51,96	116,1	37,44	14	25	25,34
Pressió (bar)	3	2,95	1,692	1,013	1,013	1,013	1,723	1,658	1,54	1,013	3,04
Cabal Molar (Kmol/h)	5537	5537	777,1	48,62	530,6	295,1	530,6	530,6	530,6	172,1	459,5
Cabal Màssic (kg/h)	99.754	99.754	20661,58	875	14499,5	7038	14499,5	14499,5	14499,5	3100	12913,92
Fracció Màssica											
Metanol	0	0	0,0174	0	0,0248	0	0,0248	0,0248	0,0248	0	0
Formaldehid	0	0	0,2261	0	0,0254	0,6116	0,0254	0,0254	0,0254	0	0
H ₂ O	1	1	0,1357	1	0,0652	0,3883	0,0652	0,0652	0,0652	1	0,0068
N ₂	0	0	0,5856	0	0,8345	0,0001	0,8345	0,8345	0,8345	0	0,9369
O ₂	0	0	0,0352	0	0,0501	0	0,0501	0,0501	0,0501	0	0,0563
Hitec SALT	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nº Corrent	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Fracció vapor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Temperatura (Cº)	22,31	22,35	25	37,98	250	299,1	25	43,72	5	13
Pressió (bar)	3,119	1,013	1,013	1,013	5,74	5,05	3	2,958	3	2,913
Cabal Molar (Kmol/h)	243,2	243,2	28,28	566,5	4132	4132	2220	2220	2331	2331
Cabal Màssic (kg/h)	4686	4686	906,2	12629,71	360000	360000	40000	40000	42000	42000
Fracció Màssica										
Metanol	0,0768	0,0768	1	0,1003	0	0	0	0	0	0
Formaldehid	0,0785	0,0785	0	0,3699	0	0	0	0	0	0
H ₂ O	0,8446	0,8446	0	0,5298	0	0	1	1	1	1
N ₂	0,0001	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0
O ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hitec SALT	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0

Seguidament, es realitza la comprovació del balanç global de matèria del procés, comparant el cabal màssic total d'entrada amb el cabal màssic total de sortida. Les entrades principals al sistema corresponen fonamentalment al metanol, l'aire de procés i la resta de serveis auxiliars necessaris per a l'operació de la planta, mentre que les sortides inclouen el formaldehid comercial al 37%, els corrents gasosos residuals i les possibles purgues o efluents generats durant el procés.

Taula 1.14. Comprovació de balanç de matèria general.

ENTRADA		SORTIDA	
Nº Corrent	Cabal Màssic (kg/h)	Nº Corrent	Cabal Màssic (kg/h)
1	15316	22	12913,92
2	5345	26	12629,71
15	875		
21	3100		
25	906,20		
TOTAL	25542,20	TOTAL	25543,63

Finalment, a la taula de comprovació del balanç global de matèria s'observa que els cabals màssics totals d'entrada i sortida presenten una diferència molt reduïda. Aquesta petita desviació pot atribuir-se principalment als arrodoniments efectuats durant els càlculs i a l'aproximació de determinades dades de procés. Per tant, es considera que el balanç global de matèria del procés queda correctament verificat.

1.5 Especificacions i necessitats dels serveis de planta

Per tal de poder dur a terme el procés de producció de formaldehid de manera segura, contínua i eficient a la planta MF, és imprescindible disposar d'un conjunt de serveis auxiliars de planta. Aquests serveis no formen part del corrent principal de reacció ni del producte final, però són essencials per garantir el correcte funcionament dels equips, el control de les condicions operatives, la seguretat del procés i el subministrament d'energia i utilitats a tota la instal·lació.

En aquest sentit, el disseny de la planta no es limita únicament als equips de procés, sinó que també inclou el dimensionament i la selecció dels sistemes de subministrament dels diferents serveis. La tasca de l'enginyeria en aquest apartat consisteix a determinar els requeriments de consum (cabals, potències i demandes energètiques) de cada servei, així com definir la seva procedència (externa o interna) i les seves característiques principals d'operació.

Els serveis de planta inclouen principalment subministraments de matèria com aigua de xarxa, aigua de refrigeració, aigua contra incendis, aire comprimit i nitrogen, així com subministraments energètics com l'electricitat i el gas natural. A la taula següent es resumeixen aquests serveis, la seva classificació i la seva localització dins la instal·lació.

Taula 1.15. Serveis de planta

Servei	Classificació	Origen	Localització
Aigua de xarxa	Matèria	Extern	Escomesa a peu de parcel·la
Aigua contra incendis	Matèria	Intern	Xarxa contra incendis de planta
Aigua de refrigeració	Matèria	Intern	Circuit de refrigeració
Aire comprimit	Matèria	Intern	Sala de compressors
Nitrogen	Matèria	Extern	Subministrament de proveïdor extern
Electricitat	Energia	Extern	Escomesa elèctrica a peu de parcel·la
Gas natural	Energia	Extern	Escomesa a peu de parcel·la
Xarxa d'efluents / sanejament	Evacuació	Intern	Connexió a tractament extern

A continuació es descriuen amb major detall cadascun dels serveis de planta indicats a la taula anterior, especificant-ne la funció dins del procés, les principals condicions d'operació i les consideracions de disseny més rellevants.

1.5.1. Aigua de xarxa

La planta MF disposa d'una escomesa d'aigua de xarxa situada a peu de parcel·la, que constitueix la principal font d'aigua fresca per als serveis auxiliars de la instal·lació.

Aquest servei s'utilitza principalment per a consum sanitari, neteja d'equips i instal·lacions, laboratoris i com a fluid refrigerant als bescanviadors E-301 i E-203.

Després del seu ús als bescanviadors, l'aigua es recircula cap a una torre de refrigeració, on dissipa la calor absorbida abans de ser reutilitzada novament al procés, reduint així el consum global d'aigua fresca.

1.5.2. Aigua contra incendis

La planta disposa d'un sistema independent d'aigua contra incendis destinat a protegir les àrees de procés i emmagatzematge.

Aquest sistema alimenta hidrants, boques d'incendi equipades i sistemes de ruixadors distribuïts per tota la instal·lació. L'aigua s'emmagatzema en un dipòsit específic amb capacitat suficient per garantir l'autonomia en cas d'emergència.

La xarxa incorpora bombes principals i una bomba de manteniment de pressió per assegurar una resposta immediata davant possibles incidents relacionats amb la presència de substàncies inflamables com el metanol.

1.5.3. Aigua de refrigeració

La planta disposa d'un circuit d'aigua de refrigeració destinat a eliminar la calor dels equips de procés que requereixen temperatures més baixes de funcionament.

Aquest servei s'utilitza principalment al bescanviador E-302, on es produeix el refredament final del corrent gasós abans de la segona etapa d'absorció.

El sistema opera en circuit tancat amb recirculació contínua cap a un chiller, on l'aigua cedeix la calor absorbida i es condiona per ser reutilitzada novament al procés. El circuit incorpora bombes de circulació i sistemes de tractament per evitar problemes de corrosió i incrustacions.

1.5.4. Aire comprimit

La planta disposa d'un sistema d'aire comprimit destinat principalment als sistemes de control pneumàtic i instrumentació.

Aquest servei alimenta actuadors, vàlvules de control i altres equips pneumàtics distribuïts per la instal·lació. L'aire és generat mitjançant compressors i tractat amb sistemes de filtració i assecat per garantir unes condicions adequades d'operació.

El sistema opera habitualment entre 2,1 bar i disposa d'un dipòsit pulmó per estabilitzar el subministrament.

1.5.5. Nitrogen

El nitrogen s'utilitza com a gas inert per evitar la formació d'atmosferes inflamables en equips i línies amb presència de metanol o formaldehid.

Aquest servei s'aplica principalment als tancs d'emmagatzematge de matèries primeres i producte final, així com en operacions d'inertització de bescanviadors i altres equips de procés durant tasques de manteniment o posada en servei. El nitrogen permet reduir la concentració d'oxigen en l'interior dels equips, minimitzant el risc d'ignició i millorant la seguretat global de la instal·lació.

El subministrament es realitza des d'un proveïdor extern i es distribueix mitjançant una xarxa equipada amb reguladors i sistemes de seguretat.

1.5.6. Electricitat

L'energia elèctrica és un servei essencial per al funcionament global de la planta, alimentant equips de procés, sistemes auxiliars, il·luminació i instrumentació.

El subministrament es realitza des de la xarxa exterior en mitja tensió mitjançant una estació transformadora pròpia.

La planta disposa també de sistemes de seguretat i continuïtat de servei, com un grup electrogen d'emergència i sistemes SAI per als equips crítics.

1.5.7. Gas natural

El gas natural s'utilitza principalment com a combustible per a la generació d'energia tèrmica auxiliar de la planta.

El subministrament es realitza des de la xarxa exterior i disposa de sistemes de regulació i seguretat per garantir una operació estable i segura. Aquest servei contribueix al subministrament energètic global de la instal·lació.

1.5.8. Xarxa d'efluents i sanejament

La planta disposa d'un sistema de recollida i gestió d'efluents líquids i gasosos generats durant el procés.

Els efluents líquids procedeixen principalment de purgues, aigües de neteja i corrents residuals amb presència de formaldehid o metanol, i són enviats a tractament extern autoritzat.

Els corrents gasosos no absorbits procedents de la secció d'absorció estan formats principalment per nitrogen, oxigen i vapor d'aigua, amb traces de compostos orgànics volàtils. Aquests gasos es gestionen mitjançant una xarxa de ventilació i emissió controlada per garantir el compliment de la normativa ambiental.

1.6 Construcció de la planta

En aquest apartat es descriu la distribució general de la planta MF, així com les diferents àrees funcionals que la constitueixen. La disposició dels equips i edificacions s'ha realitzat considerant criteris de seguretat industrial, operabilitat, integració del procés, circulació de vehicles industrials i facilitat de manteniment.

La planta s'ha dividit en diferents àrees identificades mitjançant una nomenclatura específica, la qual permet organitzar les diferents zones segons la seva funció dins del procés productiu i dels serveis auxiliars.

A continuació, es mostren les diferents àrees de la planta i la seva funció principal.

Taula 1.16. Nomenclatura de les àrees.

Àrea	Descripció
A-100	Emmagatzematge de metanol
A-200	Reacció
A-300	Absorció i obtenció de formaldehid
A-400	Emmagatzematge de producte final
A-500	Recepció + Mostres Laboratori
A-600	Balsa contra Incendis i estació bombament
A-700	Utilities
A-800	Zona de control
A-900	Taller i Manteniment
A-1000	Oficines
A-1100	Vestuari
A-1200	Menjador + Sala d'estar
A-1300	Laboratori
A-1400	Zona d'espera per camions per carregar i descarregar
A-1500	Pàrquing

1.6.1. Plànol de la planta

A la següent figura es mostra el plànol general de distribució de la planta MF, on s'identifiquen les diferents àrees productives, auxiliars i de serveis. La distribució s'ha dissenyat per garantir una operació segura i eficient, minimitzant interferències entre zones de procés, àrees de circulació i serveis generals.

Les àrees de procés principals (A-100, A-200, A-300 i A-400) es troben distribuïdes de forma seqüencial segons el flux del procés productiu, facilitant el transport de corrents i reduint longituds de canonades. Paral·lelament, les zones auxiliars i de serveis s'han ubicat estratègicament per assegurar l'accessibilitat dels operaris, el control de la planta i la resposta davant situacions d'emergència.

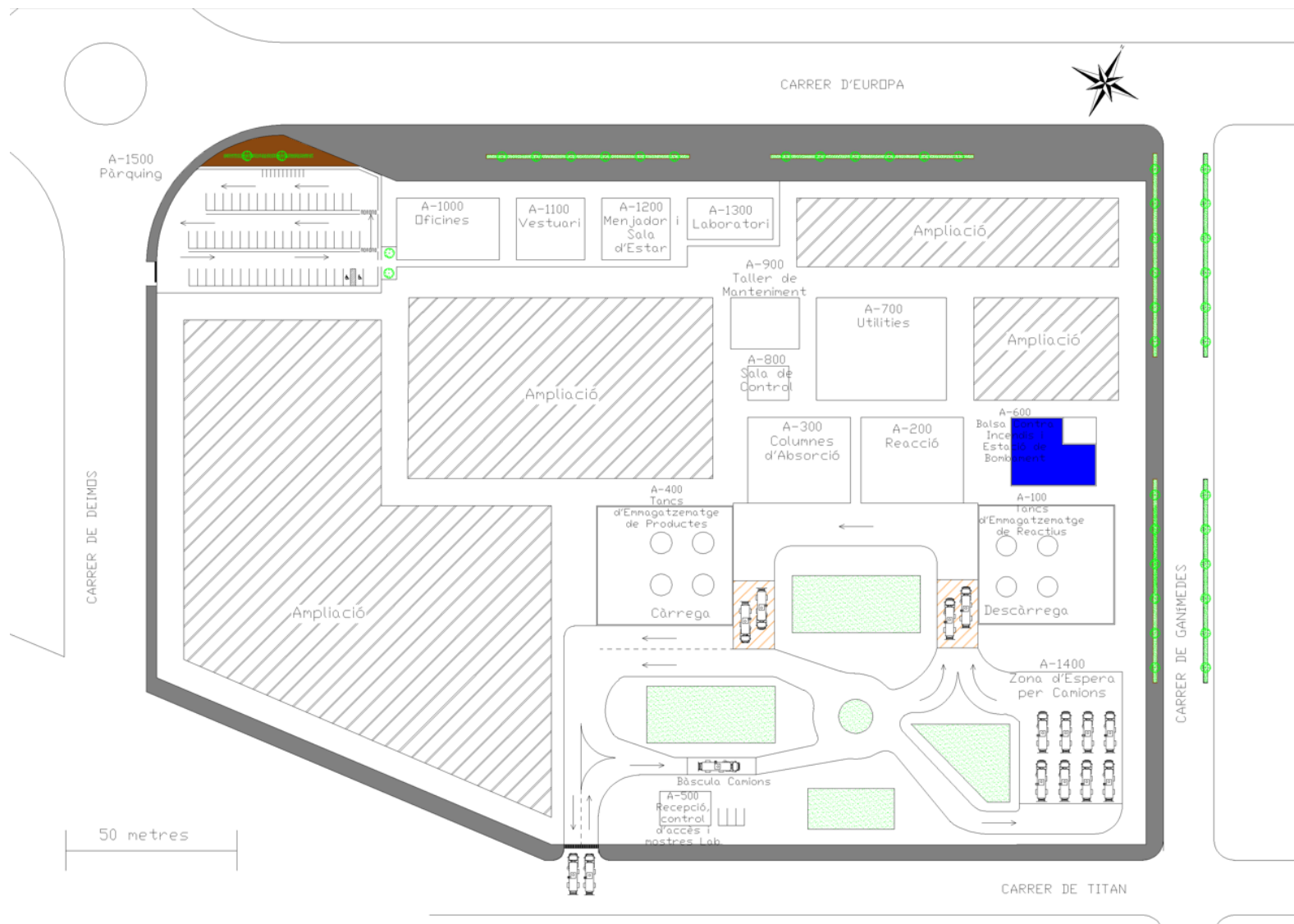


Figura 1.21. Plànol general de la planta MF.

1.6.2. Descripció de les àrees

1.6.2.1. A-100 Emmagatzematge de matèries primeres

L'àrea A-100 correspon a la zona destinada a l'emmagatzematge del metanol utilitzat com a matèria primera principal del procés productiu. Aquesta àrea inclou els dipòsits d'emmagatzematge, les línies de càrrega i descàrrega i els sistemes de bombeig necessaris per alimentar contínuament el procés.

La seva ubicació dins de la planta permet mantenir una distància de seguretat adequada respecte a les zones administratives i facilita l'accés dels camions cisterna durant les operacions de subministrament.

1.6.2.2. A-200 Reacció

L'àrea A-200 constitueix el nucli principal del procés productiu, ja que és la zona on es produeix l'oxidació catalítica del metanol per obtenir formaldehid segons la tecnologia Formox. En aquesta àrea es localitzen els principals equips de procés, com els bescanviadors de calor, el sistema de mescla dels reactius i el reactor multitubular.

La distribució dels equips dins d'aquesta àrea s'ha realitzat seguint el flux natural del procés, minimitzant longituds de canonades i facilitant tant l'operació com les tasques de manteniment. Igualment, s'han previst espais suficients entre equips per garantir l'accessibilitat dels operaris i el compliment de les distàncies de seguretat industrial.

Degut al caràcter altament exotèrmic de la reacció i a la presència de compostos inflamables, aquesta zona disposa de sistemes específics de control i seguretat, incloent instrumentació de temperatura i pressió, sistemes d'alarma i dispositius de ventilació. A més, el reactor i els equips associats han estat ubicats en una zona central de la planta per reduir interferències amb les àrees administratives i de circulació de personal.

També s'ha considerat la integració energètica del procés, situant els bescanviadors de recuperació de calor pròxims al reactor per reduir pèrdues energètiques i optimitzar el rendiment global de la planta.

1.6.2.3. A-300 Absorció

L'àrea A-300 està destinada a la recuperació del formaldehid generat durant la reacció i a l'obtenció de la dissolució comercial de formaldehid al 37%. Aquesta zona inclou principalment les columnes d'absorció, els equips de refredament, compressors i sistemes auxiliars associats al tractament dels corrents gasosos.

La configuració de l'àrea s'ha dissenyat per afavorir un flux continu entre les etapes de refredament i absorció, permetent maximitzar la recuperació del formaldehid i reduir les emissions de compostos orgànics volàtils. Les columnes d'absorció es disposen verticalment per optimitzar l'espai disponible i facilitar les operacions d'inspecció i manteniment.

A causa de la toxicitat del formaldehid i la presència de vapors residuals de metanol, aquesta àrea incorpora sistemes adequats de ventilació i control d'emissions. Igualment, s'han previst sistemes de drenatge i contenció per gestionar possibles fuites o vessaments.

La proximitat de l'àrea A-300 respecte a la zona de reacció permet reduir el recorregut dels corrents de procés i minimitzar pèrdues tèrmiques abans de l'etapa d'absorció.

1.6.2.4. A-400 Emmagatzematge de producte

L'àrea A-400 correspon a la zona destinada a l'emmagatzematge del formaldehid comercial abans de la seva expedició. Aquesta àrea inclou els dipòsits de producte final, les línies de transferència, els sistemes de bombeig i les connexions amb la zona de càrrega de camions cisterna.

Els tancs d'emmagatzematge s'han distribuït de manera que es garanteixi una operació segura i accessible, deixant espais suficients per a les tasques de manteniment, inspecció i circulació de vehicles industrials. A més, la seva ubicació propera a la zona de càrrega facilita les operacions logístiques i redueix el recorregut de transport intern del producte.

Degut a la toxicitat i volatilitat del formaldehid, aquesta àrea disposa de sistemes de ventilació, segellat i control d'emissions, així com mesures de seguretat per evitar possibles vessaments o emissions accidentals. Igualment, els dipòsits s'ubiquen dins una zona amb capacitat de contenció per limitar l'impacte en cas de fuga.

La disposició de l'àrea també permet garantir una expedició contínua del producte final, assegurant l'espai necessari per a les maniobres dels camions cisterna i evitant interferències amb la resta de zones operatives de la planta.

1.6.2.5. A-500 Recepció i mostres laboratori

L'àrea A-500 correspon a la zona de recepció de la planta i al punt de gestió de mostres per al laboratori. Aquesta àrea es troba situada a l'entrada principal del recinte, facilitant el control d'accés de personal extern, transportistes i visites.

En aquesta zona es realitza la recepció administrativa de matèries primeres i expedicions, així com la presa de mostres dels diferents corrents de procés i productes comercials abans de ser analitzats al laboratori de planta. La proximitat amb les zones de càrrega i descàrrega permet agilitzar les operacions logístiques i reduir els temps d'espera dels vehicles.

L'àrea disposa d'espais habilitats per a la manipulació segura de mostres químiques, així com dels serveis necessaris per al registre i control documental de les operacions d'entrada i sortida de materials.

1.6.2.6. A-600 Bassa contra incendis i estació de bombament

L'àrea A-600 correspon al sistema principal de protecció contra incendis de la planta. Aquesta zona inclou la bassa d'emmagatzematge d'aigua contra incendis i l'estació de bombament encarregada d'alimentar la xarxa d'hidrants i sistemes de protecció del recinte.

La seva ubicació en una zona perimetral de la planta permet garantir una resposta ràpida davant possibles emergències i facilita la distribució d'aigua cap a totes les àrees de procés i serveis. A més, aquesta disposició minimitza el risc d'afectació directa sobre les instal·lacions principals en cas d'incident.

L'estació de bombament està equipada amb els sistemes necessaris per assegurar un subministrament continu d'aigua a pressió, incloent bombes principals i equips auxiliars de reserva per garantir la fiabilitat del sistema.

1.6.2.7. A-700 Utilities

L'àrea A-700 engloba els serveis auxiliars necessaris per al funcionament global de la planta. En aquesta zona es localitzen els equips associats als sistemes d'aigua de refrigeració, aire

comprimit, distribució elèctrica, fluids tèrmics i altres serveis requerits durant l'operació del procés.

La seva ubicació central respecte a les àrees productives permet optimitzar la distribució dels serveis i reduir les pèrdues energètiques associades al transport de fluids i energia. Igualment, aquesta disposició facilita les operacions de manteniment i inspecció dels equips auxiliars.

Aquesta àrea ha estat dissenyada considerant criteris d'accessibilitat i seguretat, deixant espais suficients per a la instal·lació de canonades, equips i possibles ampliacions futures de la planta.

1.6.2.8. A-800 Zona de control

L'àrea A-800 correspon a la sala de control de la planta, des d'on es supervisen i controlen totes les variables principals del procés productiu. Aquesta zona constitueix el centre operatiu de la instal·lació i permet monitoritzar en temps real el funcionament dels equips i les condicions de procés.

La sala de control disposa dels sistemes de supervisió, alarmes i control distribuït necessaris per garantir una operació segura i estable de la planta. A més, s'ha situat en una zona protegida i separada de les àrees de major risc químic, assegurant la seguretat del personal operatiu.

La seva ubicació propera a les àrees de procés facilita la comunicació entre operadors i personal de planta durant les operacions normals i les tasques de manteniment.

1.6.2.9. A-900 Taller i manteniment

L'àrea A-900 està destinada a les operacions de manteniment mecànic i reparació dels equips de la planta. Aquesta zona inclou un taller equipat amb eines, espais d'emmagatzematge de recanvis i àrees destinades a treballs de manteniment preventiu i correctiu.

La seva ubicació propera a les àrees de procés permet reduir els temps d'intervenció en cas d'avaría i facilita l'accés del personal tècnic als diferents equips de planta.

A més, aquesta àrea disposa de l'espai necessari per al manteniment de bombes, vàlvules, instruments i altres equips auxiliars, contribuint a garantir la continuïtat operativa de la instal·lació.

1.6.2.10. A-1000 Oficines

L'àrea A-1000 correspon a les oficines administratives i tècniques de la planta. En aquesta zona es desenvolupen les activitats de gestió, administració, enginyeria i coordinació de les operacions de la planta.

Les oficines s'han situat en una zona allunyada de les àrees de procés per garantir unes condicions de treball adequades pel personal administratiu i tècnic. Igualment, la seva ubicació permet mantenir una comunicació eficient amb la sala de control i la resta de serveis de la planta.

Aquest espai disposa de sales de treball, zones de reunió i serveis necessaris per al correcte desenvolupament de les activitats administratives i tècniques.

1.6.2.11. A-1100 Vestuari

L'àrea A-1100 correspon als vestuaris del personal de planta. Aquesta zona està equipada amb taquilles, bancs i serveis destinats a facilitar el canvi de roba i l'emmagatzematge dels equips de protecció individual dels treballadors.

La seva ubicació propera a l'entrada de les zones productives permet als operaris accedir fàcilment a les instal·lacions abans d'iniciar les activitats de planta, mantenint la separació entre roba de treball i roba de carrer.

A més, aquesta àrea disposa de dutxes i serveis sanitaris per garantir les condicions d'higiene i seguretat del personal.

1.6.2.12. A-1200 Menjador i sala d'estar

L'àrea A-1200 està destinada al descans i benestar dels treballadors de la planta. Aquesta zona inclou el menjador, la sala d'estar i els espais habilitats perquè el personal pugui realitzar les pauses durant la jornada laboral.

L'espai s'ha dissenyat per proporcionar unes condicions còmodes i adequades pels treballadors, contribuint al benestar del personal i a la millora de les condicions laborals dins la planta.

La seva ubicació separada de les zones de procés garanteix un entorn segur i tranquil durant els períodes de descans.

1.6.2.13. A-1300 Laboratori

L'àrea A-1300 correspon al laboratori de control i suport analític de la planta. En aquesta zona es realitzen les anàlisis de qualitat de matèries primeres, corrents intermedis i producte final per garantir el compliment de les especificacions del procés.

El laboratori està equipat amb els instruments necessaris per al control analític del formaldehid, metanol i altres corrents associats al procés productiu. Igualment, aquesta àrea permet desenvolupar tasques de seguiment operacional i possibles estudis d'optimització del procés.

La seva proximitat amb les oficines i la zona de recepció de mostres facilita la coordinació entre les activitats analítiques i les operacions de planta.

1.6.2.14. A-1400 Zona d'espera per camions per carregar i descarregar

L'àrea A-1400 correspon a la zona habilitada per a l'espera i maniobra dels camions durant les operacions de càrrega i descàrrega de matèries primeres i producte final.

Aquesta zona ha estat dimensionada per permetre una circulació segura i fluida dels vehicles industrials dins del recinte, evitant congestions i interferències amb la resta d'activitats de la planta. També disposa de l'espai suficient perquè diversos camions puguin esperar simultàniament abans de les operacions logístiques.

La proximitat amb les àrees A-100 i A-400 facilita les operacions de transport i redueix els temps de maniobra dels vehicles cisterna.

1.6.2.15. A-1500 Pàrquing

L'àrea A-1500 correspon al pàrquing de la planta destinat als treballadors i visites externes. Aquesta zona s'ha situat pròxima a l'entrada principal del recinte per facilitar l'accés del personal sense interferir amb la circulació de vehicles industrials.

El pàrquing disposa de places suficients per cobrir les necessitats habituals de la planta i s'ha dissenyat considerant criteris de seguretat viària i facilitat de circulació interior.

A més, la seva ubicació independent de les àrees de procés contribueix a reduir els riscos associats al trànsit intern dins de la instal·lació industrial.

1.7 Plantilla de treballadors i departaments

La planta MF ha estat dissenyada per operar de manera contínua amb l'objectiu d'assolir una producció anual de 100.000 tones de formaldehid en dissolució aquosa al 37%, estabilitzada amb metanol.

El procés productiu es basa en la tecnologia Formox, consistent en l'oxidació parcial del metanol amb aire sobre un catalitzador d'òxids metàl·lics. Aquest tipus de procés es caracteritza per treballar en règim continu i per requerir condicions operatives estables, ja que les operacions d'aturada i posada en marxa presenten una elevada complexitat tècnica i operativa.

Per aquest motiu, la planta operara durant 330 dies l'any de manera ininterrompuda, mentre que els 35 dies restants correspondran a una parada programada de manteniment compresa entre l'1 d'agost i el 4 de setembre. Durant aquest període s'aturaran totes les operacions de procés amb l'objectiu de realitzar inspeccions generals, tasques de manteniment preventiu i correctiu, revisió d'equips crítics i possibles actuacions de millora sobre les instal·lacions.

L'organització de la planta es divideix principalment en dues grans àrees de treball: l'àrea d'operació de planta i l'àrea administrativa i tècnica. Ambdues àrees treballen de manera coordinada sota la supervisió del Director de Planta, que constitueix la màxima responsabilitat operativa de la instal·lació.

El Director de Planta és el responsable màxim de l'operació global de MF i coordina tots els departaments de la instal·lació. Per sota seu es troben els diferents caps de departament, responsables de gestionar les àrees específiques de producció, manteniment, qualitat, HSE, logística i administració. Cada cap de departament coordina els tècnics, supervisors i operaris corresponents, establint l'organització interna i garantint el correcte desenvolupament de les activitats diàries.

L'àrea d'operació de planta engloba totes les activitats directament relacionades amb el funcionament del procés productiu, incloent la producció, el control de procés, el manteniment, la logística, la seguretat industrial i el control de qualitat. El personal d'aquesta àrea garanteix el correcte funcionament de les instal·lacions les 24 hores del dia i assegura la continuïtat de la producció.

El personal d'operació de planta treballarà en règim de torns rotatius per garantir el funcionament continu de les instal·lacions. S'establiran cinc equips de treball, dels quals tres es trobaran operatius simultàniament cobrint els torns de matí, tarda i nit, mentre que els altres dos equips romandran en descans. Els torns seran rotatius i permetran assegurar tant la continuïtat operacional com els períodes reglamentaris de descans dels treballadors.

El sistema de rotació seguirà un cicle de sis dies consecutius de treball seguits de quatre dies de descans. Durant els períodes de treball, els operaris aniran alternant de manera rotativa els diferents torns amb l'objectiu de distribuir equilibradament les jornades de matí, tarda i nit entre tots els treballadors. Aquesta organització permet assegurar la continuïtat operacional de la planta, minimitzar la fatiga dels operaris i garantir el compliment dels períodes reglamentaris de descans establerts per la normativa laboral vigent.

D'altra banda, l'**àrea administrativa** i tècnica inclou els departaments de direcció, administració, recursos humans, compres, enginyeria de procés i suport tècnic. Aquesta àrea és l'encarregada de la gestió econòmica, organitzativa i tècnica de la planta, així com de la coordinació general dels diferents departaments.

Pel que fa al règim de treball, el personal administratiu i tècnic treballarà principalment en torn partit, desenvolupant una jornada laboral de 40 hores setmanals de dilluns a divendres.

Els departaments de manteniment, qualitat i HSE disposaran també de personal de retén fora de l'horari habitual per poder intervenir ràpidament davant possibles incidències o emergències operatives. Aquesta organització permet assegurar una resposta ràpida i mantenir en tot moment les condicions de seguretat i estabilitat del procés productiu.

A continuació es descriuen els principals departaments que conformen l'organització de la planta i les seves funcions dins de MF.

Direcció de Planta

La Direcció de Planta representa el nivell més alt de gestió operativa dins de MF. El Director de Planta és l'encarregat de coordinar el conjunt d'activitats relacionades amb la producció, la seguretat, el manteniment i la planificació general de la instal·lació.

Entre les seves responsabilitats principals es troben la supervisió del rendiment global de la planta, la coordinació entre departaments i la presa de decisions davant incidències tècniques o necessitats operatives. També és responsable de vetllar pel compliment dels objectius de producció i de les normatives aplicables en matèria de seguretat industrial i medi ambient.

Els responsables de cada departament reportaran directament a Direcció de Planta per garantir una correcta coordinació de totes les activitats desenvolupades a la instal·lació.

Departament de Producció

El Departament de Producció s'encarrega de controlar i supervisar les diferents etapes del procés de fabricació del formaldehid, des de l'alimentació de matèries primeres fins a l'obtenció i expedició del producte final.

Aquest departament controla les condicions d'operació dels equips principals de procés, incloent reactors, bescanviadors de calor, columnes d'absorció, bombes i dipòsits d'emmagatzematge. També supervisa els sistemes de control distribuït i realitza el seguiment continu de les variables de procés més importants.

L'organització interna està formada per un Cap de Producció, responsables de torn i operadors de planta. Els responsables de torn coordinen les operacions diàries i asseguren la correcta transmissió d'informació entre torns, mentre que els operadors executen les maniobres necessàries sobre els equips i realitzen inspeccions periòdiques de camp.

Degut a l'alt nivell d'automatització de la planta, gran part de les tasques del personal operatiu es centren en la supervisió del procés i la verificació del correcte funcionament dels sistemes de seguretat i control.

Departament d'Enginyeria i Manteniment

El Departament d'Enginyeria i Manteniment té com a finalitat assegurar el correcte estat operatiu dels equips i instal·lacions de la planta.

L'àrea d'enginyeria desenvolupa tasques relacionades amb la millora del procés, l'anàlisi del comportament dels equips i la implementació de modificacions tècniques orientades a augmentar l'eficiència energètica i la fiabilitat operacional.

Paral·lelament, l'àrea de manteniment és responsable de la revisió i reparació dels equips mecànics, sistemes elèctrics i instruments de control. Les activitats inclouen manteniment preventiu, inspeccions programades, calibració d'instrumentació i actuacions correctives davant possibles avaries.

Durant les parades generals de planta, aquest departament coordina les principals tasques de revisió tècnica i substitució d'elements crítics del procés.

Departament de Qualitat i Laboratori

El Departament de Qualitat i Laboratori és responsable de verificar que les matèries primeres, corrents intermèdies i productes finals compleixin les especificacions establertes per la planta.

Al laboratori es realitzen controls analítics sobre el metanol d'alimentació, el formaldehid produït i diferents mostres del procés amb l'objectiu de controlar la concentració de producte, la presència d'impureses i el correcte funcionament de les unitats de producció.

Aquest departament també participa en el seguiment de paràmetres ambientals i en el control d'efluents líquids i emissions gasoses associades al procés.

El personal de laboratori proporciona suport analític als diferents departaments de planta i col·labora en estudis orientats a l'optimització operativa i la millora de la qualitat del producte final.

Departament HSE

El Departament HSE (Health, Safety and Environment) és l'encarregat de gestionar tots els aspectes relacionats amb la seguretat industrial, la salut laboral i la protecció ambiental dins de la planta.

Les seves funcions inclouen la identificació i avaluació de riscos, la preparació de procediments de seguretat, la coordinació de simulacres d'emergència i la supervisió de l'ús correcte dels equips de protecció individual.

Aquest departament controla especialment els riscos associats a la manipulació de substàncies inflamables i tòxiques com el metanol i el formaldehid, assegurant que les operacions es desenvolupin sota condicions segures.

També supervisa la gestió de residus i emissions derivades del procés productiu per garantir el compliment dels requisits ambientals aplicables.

Departament de Logística i Expedicions

El Departament de Logística i Expedicions gestiona les activitats relacionades amb el moviment de matèries primeres i productes dins i fora de la planta.

Entre les seves funcions principals es troben la coordinació de les descàrregues de metanol, la gestió dels dipòsits d'emmagatzematge i l'organització de les expedicions de formaldehid mitjançant camions cisterna.

Aquest departament també controla la documentació associada al transport de productes químics i coordina els horaris de càrrega i descàrrega amb empreses externes i transportistes.

La correcta planificació logística és fonamental per assegurar la continuïtat del procés productiu i evitar interrupcions en el subministrament de matèries primeres o en l'expedició del producte acabat.

Departament d'Administració i Recursos Humans

El Departament d'Administració i Recursos Humans s'encarrega de les activitats administratives i de gestió del personal de la planta.

Les seves funcions inclouen la contractació de treballadors, la gestió de nòmines, el control documental, la coordinació de formacions internes i la gestió administrativa relacionada amb empreses externes i organismes oficials.

Aquest departament també participa en la planificació econòmica de la planta, el seguiment dels costos operatius i la gestió de compres de materials i serveis necessaris pel funcionament de les instal·lacions.

Addicionalment, coordina aspectes relacionats amb l'organització interna del personal i dona suport administratiu als diferents departaments de MF.

Taula 1.17. Distribució dels Departaments i càrrecs de la planta MF.

Departament	Càrrec	Nombre de treballadors	Règim
Direcció de Planta	Director de Planta	1	Torn partit
Producció	Cap de Producció	1	Torn partit
	Responsables de torn	5	Torn rotatiu
	Operadors de planta	15	Torn rotatiu
	Auxiliars de procés	5	Torn rotatiu
Qualitat i Laboratori	Cap de Qualitat	1	Torn partit
	Analistes de laboratori	4	Torn rotatiu
Enginyeria i Manteniment	Cap d'Enginyeria i Manteniment	1	Torn partit
	Enginyer de procés	1	Torn partit
	Tècnics de manteniment mecànic	4	Torn rotatiu
	Tècnics d'instrumentació i electricitat	2	Torn rotatiu
HSE	Responsable HSE	1	Torn partit
	Tècnic de seguretat i medi ambient	2	Torn partit
Logística i Magatzem	Responsable de logística	1	Torn partit
	Operadors de càrrega i descàrrega	4	Torn rotatiu
Administració i RRHH	Responsable administratiu i RRHH	1	Torn partit
	Administratius	2	Torn partit
Utilities i Serveis Generals	Operadors de utilities	2	Torn rotatiu
Neteja i serveis auxiliars	Operaris de serveis generals	2	Torn fix

Finalment, l'organització definida per a MF permet assegurar el funcionament continu de la planta i garantir una coordinació adequada entre les àrees operatives i administratives.

L'estructura de personal cobreix les necessitats de producció, control de qualitat, manteniment, logística, seguretat i gestió tècnica de les instal·lacions.

Tenint en compte el règim d'operació continu durant 330 dies anuals i el sistema de torns rotatius implantat a les àrees productives, la plantilla estimada de la planta serà d'aproximadament 55 treballadors. La major part del personal estarà destinada directament a les activitats d'operació i manteniment de planta, mentre que la resta correspondrà a funcions tècniques, administratives i de suport.

1.8 Planificació temporal

Una vegada aprovat el projecte de la planta de producció de formaldehid de l'empresa MF, es procedeix a la planificació temporal de totes les activitats necessàries per a la construcció, instal·lació i posada en marxa de la planta industrial.

La planificació temporal permet organitzar de manera eficient totes les etapes del projecte, establint la durada estimada de cadascuna de les tasques, així com les seves relacions de precedència. Aquesta organització resulta fonamental per optimitzar els recursos disponibles, reduir els temps d'execució i garantir el correcte desenvolupament de les diferents àrees de la planta.

Per a l'elaboració de la planificació s'han considerat les diferents unitats que conformen el procés productiu, incloent les àrees d'emmagatzematge de matèries primeres i producte final, la secció de reacció segons la tecnologia Formox, el sistema d'absorció i recuperació de formaldehid, així com les instal·lacions auxiliars, laboratoris, serveis industrials i sistemes de seguretat.

A la taula següent es mostren totes les tasques necessàries per a la construcció de la planta MF, indicant la durada estimada de cadascuna d'elles i la seva relació de precedència.

Taula 1.18. Planificació temporal MF.

Nº de tasca	Tasca	Duració (dies)	Precedència
1	Enginyeria bàsica	60	-
2	Obtenció de llicències d'obra i activitats	150	-
3	Enginyeria de detall	120	1
4	Demanda d'equips principals	150	3
5	Neteja i adequació del terreny	30	2
6	Excavacions i cimentacions	60	5
7	Instal·lació de subministraments generals	30	6
8	Construcció de vials i accessos	30	6
9	Construcció d'aparcaments	20	8
10	Edificació d'oficines i àrea administrativa	75	7
11	Construcció de laboratoris i tallers	75	7
12	Construcció de vestidors i àrea social	60	7
13	Instal·lació del sistema contra incendis	35	7
14	Garita de seguretat i control d'accés	10	7
15	Construcció de l'àrea A-100 d'emmagatzematge de metanol	60	6
16	Construcció de l'àrea A-200 de reacció	90	6
17	Construcció de l'àrea A-300 d'absorció	75	6
18	Construcció de l'àrea A-400 d'emmagatzematge de producte final	45	6
19	Instal·lació dels serveis auxiliars	60	6
20	Instal·lació dels equips de procés	90	4,16,17
21	Instal·lació de canonades de procés	75	20
22	Instal·lació de canonades de servei	60	19,20
23	Instal·lació de plataformes, escales i suports	30	20

24	Instal·lació del sistema elèctric	60	10
25	Connexió elèctrica dels equips	30	20,24
26	Instal·lació de la instrumentació i control	60	21,22
27	Connexió de la instrumentació	30	26
28	Aïllament tèrmic d'equips i canonades	30	21,22
29	Calibratge d'equips	30	20
30	Assaig i verificació dels equips	30	25,27,29
31	Pintura industrial	30	30
32	Neteja general i preparació final	20	31
33	Posada en marxa de la planta	15	32

Una vegada definides totes les tasques i establertes les seves relacions de precedència, es pot elaborar el corresponent diagrama de Gantt per representar gràficament la planificació temporal del projecte.

Aquest diagrama permet identificar les activitats crítiques del projecte i facilitar la coordinació entre les diferents fases de construcció, muntatge i posada en marxa de la planta. Un cop definides totes les tasques i establertes les seves relacions de dependència, s'elabora el corresponent diagrama de Gantt, que permet representar de manera gràfica la planificació temporal i el desenvolupament del projecte.

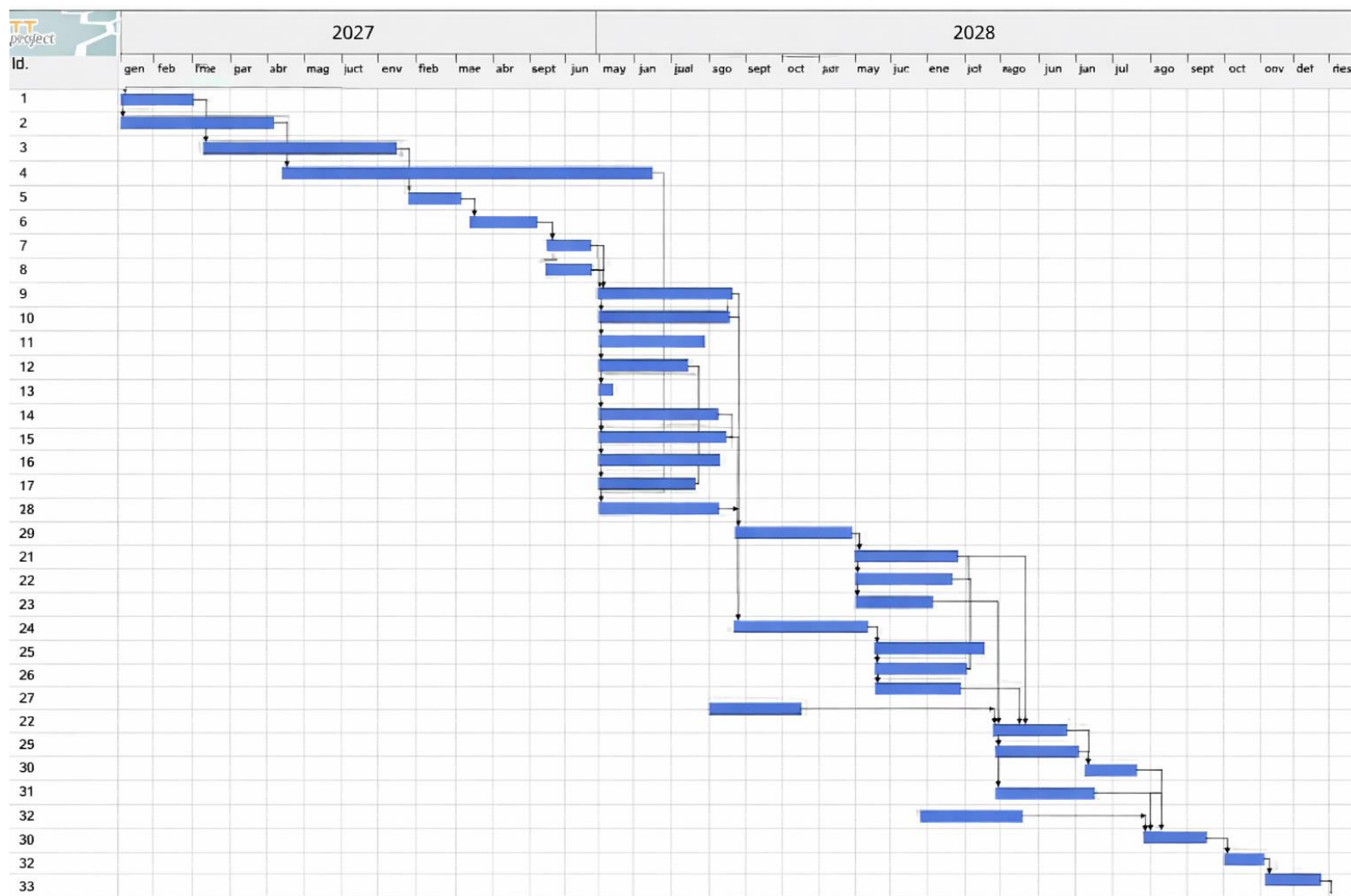


Figura 1.22. Diagrama de Gantt per la planta MF

Finalment, una vegada establerta la seqüència de totes les activitats i representades en el corresponent diagrama de Gantt, es poden identificar les tasques que determinen el camí crític del projecte i, per tant, condicionen la durada total de la construcció de la planta.

Segons la planificació temporal estimada, la construcció, instal·lació i posada en marxa de la planta MF presenta una durada aproximada de 2 anys. Aquesta planificació permet garantir una correcta coordinació entre les diferents etapes d'enginyeria, obra civil, muntatge industrial i verificació final dels equips, assegurant així l'inici de l'activitat productiva en condicions òptimes de seguretat i operació.

1.9 Referencies bibliogràfiques

- [1] WeatherSpark. (s. f.). *Clima mitjà a Tarragona, Espanya durant tot l'any*. Recuperat el 29 d'abril de 2026, de <https://es.weatherspark.com/y/45958/Clima-promedio-en-Tarragona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- [2] Reial Automòbil Club d'Espanya. (s. f.). *Mapa de carreteres de Tarragona*. Recuperat el 29 d'abril de 2026, de <https://www.race.es/mapa-de-carreteras-espana/mapa-de-carreteras-tarragona>
- [3] Administrador d'Infraestructures Ferroviàries. (s. f.). *Mapa de la xarxa ferroviària d'Espanya*. Recuperat el 29 d'abril de 2026, de <https://www.adif.es/sobre-adif/red-ferroviaria/mapa>
- [4] Maps-Barcelona.com. (s. f.). *Mapa de l'aeroport de Barcelona, Espanya*. Recuperat el 29 d'abril de 2026, de <https://es.maps-barcelona.com/mapas-de-barcelona-aeropuerto/aeropuerto-en-barcelona,-espa%C3%B1a-mapa>
- [5] Port de Tarragona. (s. f.). *Situació i accessos al Port de Tarragona*. Recuperat el 3 de maig de 2026, de <https://www.porttarragona.cat/es/port/situacion-y-accesos>
- [6] National Center for Biotechnology Information. (s. f.). *PubChem*. Recuperat el 3 de maig de 2026, de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov>
- [7] National Institute of Standards and Technology. (2026). *Formaldehyde: Thermophysical and thermochemical data. NIST Chemistry WebBook*. Recuperat el 3 de maig de 2026, de <https://webbook.nist.gov/chemistry/form-ser/>
- [8] Zhang, X., Li, Y., Li, X., & Wang, S. (2021). *Recent advances in catalytic oxidation of methanol to formaldehyde*. *Catalysts*, 11(8), 893. Recuperat el 6 de maig de 2026, de <https://doi.org/10.3390/catal11080893>
- [9] Scribd. (s. f.). *Formaldehyd – Ullmann*. Recuperat el 6 de maig de 2026, de <https://es.scribd.com/document/1011058704/Formaldehyd-Ullmann>
- [10] United States Patent Office. (1949). *Production of formaldehyde* (Patent dels Estats Units núm. 2.465.498). Recuperat el 6 de maig de 2026, de <https://patents.google.com/patent/US2465498A>

- [11] Dynea. (s. f.). *Formaldehyde technology*. Recuperat el 6 de maig de 2026, de <https://www.dynea.com/en/markets/formaldehyde-technology>
- [12] Andersson, A., & Lundin, S. (s. f.). *Formaldehyde production by catalytic oxidation of methanol*. *Semantic Scholar*. Recuperat el 10 de maig de 2026.
- [13] Bahmani, M., Rahimpour, M. R., & Jahanmiri, A. (s. f.). *Modeling and simulation of formaldehyde production reactor over iron-molybdenum catalyst*. *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*. Recuperat el 10 de maig de 2026.
- [14] Busca, G. (2019). *Catalytic oxidation of methanol to formaldehyde*. *Chemical Engineering Journal*, 371, 1–14. Recuperat el 10 de maig de 2026.
- [15] Skogestad, S. (2008). *Formaldehyde process*. *AIChE Annual Meeting*. Recuperat el 13 de maig de 2026, de <https://skoge.folk.ntnu.no/prost/proceedings/aiche-2008/data/papers/P130980.pdf>
- [16] Trifirò, F., Cavani, F., & Ferrari, M. (2003). *A study of the ageing and deactivation phenomena occurring during operation of an iron molybdate catalyst in formaldehyde production*. *Applied Catalysis A: General*, 251(2), 255–268. Recuperat el 14 de maig de 2026.