

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID

PROJECTE DE FINAL DE GRAU
Enginyeria Química

Juny 2026

Tomás Cabeza Rabadán
Anna Del Río Duran
Arnau Martínez Valle
Júlia Pons Salvatella
Víctor Rico Fernández
Edgar Jordan Delgado

TUTOR
Rafa Bosch Palacios

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID

PROJECTE DE FINAL DE GRAU
Enginyeria Química

CAPÍTOL 1: ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE



Taula de contingut

1. Especificacions del projecte	3
1.1 Definició del projecte	3
1.1.1 Bases del projecte.....	3
1.1.2 Abast del projecte.....	4
1.1.3 Localització	5
1.1.4 Paràmetres d'edificació, serveis disponibles i plànol de la parcel·la	5
1.1.5 Comunicacions.....	6
1.1.5.1 Comunicació terrestre.....	7
1.1.5.2 Comunicació aèria.....	7
1.1.5.3 Comunicació marítima	8
1.1.5.4 Comunicació ferroviària	9
1.1.6 Condicions climatològiques	9
1.2 Característiques dels components	11
1.2.1 Metanol	12
1.2.2 Aire	12
1.2.2 Formaldehid.....	13
1.2.3 Aigua	14
1.2.4 Monòxid de Carboni	14
1.3. Descripció de procés	15
1.3.2. Diagrama de blocs	15
1.3.3. Descripció de les etapes del procés	17
1.3.3.1. Emmagatzematge	17
1.3.3.2. Bescanviadors	17
1.3.3.3. Reactor	18
1.3.3.4. Absorbidor	19
1.3.3.5 Tractament d'efluents gasosos	19
1.3.4. Reaccions principals	20
1.3.5. Reaccions secundaries.....	21
1.4. Balanç de matèria i balanç d'energia.....	22
1.4.1. Diagrama de procés.....	23
1.4.2. Característiques dels corrents	25

1.4.3.	Comprovació del balanç de matèria.....	33
1.4.4.	Balanç d'energia	34
1.5.	Àrees de la planta	34
1.5.1.	Àrea 100 (Emmagatzematge de matèries primeres).....	35
1.5.2.	Àrea 200 (Vaporització de metanol i mescla de gasos)	35
1.5.3.	Àrea 300 (Reacció).....	35
1.5.4.	Àrea 400 (Absorció i refredament).....	35
1.5.5.	Àrea 500 (Tractament de gasos d'escapament)	36
1.5.6.	Àrea 600 (Emmagatzematge i expedició del producte final)	36
1.5.7.	Àrea 700 (Serveis auxiliars)	37
1.5.8.	Àrea 800 (Oficines, laboratoris, taller i sala de control).....	37
1.6.	Serveis auxiliars	37
1.6.1.	Aigua de xarxa.....	38
1.6.2.	Aigua descalcificada.....	38
1.6.3.	Aigua contra incendis	38
1.6.4.	Aigua de refrigeració.....	38
1.6.5.	Nitrogen gas.....	39
1.6.6.	Electricitat.....	39
1.6.7.	Serveis de compressió d'aire	39
1.6.8.	Gas natural.....	39
1.7	Planificació de construcció	39
1.8	Bibliografia.....	43

1. Especificacions del projecte

1.1 Definició del projecte

El següent projecte té com a objectiu definir les bases generals del disseny d'una planta industrial de producció continua de formaldehid. El projecte desenvolupa les principals característiques operatives, tecnològiques, ambientals i econòmiques relacionades amb la planta de producció, descrivint les condicions generals d'operació, requisits tècnics i requisits d'eficiència que s'establiran en la planta. En aquest primer apartat, es farà èmfasi en les especificacions sobre les quals es basa el projecte de FormalAir.

1.1.1 Bases del projecte

L'objectiu de producció de la planta és produir, de forma contínua, 100.000 tones anuals de formaldehid al 37% en pes, estabilitzat amb un 8,8% de metanol a partir de l'oxidació catalítica de metanol amb oxigen atmosfèric.

El procés ha estat dissenyat per obtenir una dissolució aquosa de formaldehid, on constitueix el 37% del pes màssic, complint amb les especificacions adequades per la seva posterior comercialització.

Pel desenvolupament del projecte han estat seleccionades tecnologies consolidades dintre de la indústria química, prioritzant la fiabilitat econòmica, l'optimització energètica i la seguretat i qualitat del projecte. La planta ha estat dissenyada considerant una continuïtat durant la major part d'un any natural, incloent-hi parades programades destinades al manteniment dels equips.

Una de les bases principals del projecte és poder garantir la seguretat de la planta, incorporant mesures de seguretat i protecció ambiental. A causa de la naturalesa dels reactius i productes emprats en la planta, aquest objectiu és prioritari pel disseny del projecte.

El projecte contempla estratègies de recuperació energètica, aprofitant el calor de la reacció exotèrmica i absorció del formaldehid, reduint així el consum d'energia de la planta per a que pugui treballar de manera autònoma amb l'exclusió de la posada en marxa, augmentant l'eficàcia global de la instal·lació, obtenint un procés viable, econòmicament competitiu i alineat amb els criteris actuals de sostenibilitat.

Les bases definides constitueixen el marc general sobre el qual es desenvoluparà el projecte, així com les decisions de disseny i planificació.

1.1.2 Abast del projecte

L'abast del projecte inclou el disseny d'una planta de producció contínua de formaldehid, incloent-hi totes les unitats de procés necessàries per poder dur a terme una producció segura i eficient. Els principals aspectes que es tenen en compte en el projecte FormalAir son aspectes econòmics, ambientals així com criteris de seguretat, operació i viabilitat del projecte.

Els principals requisits per tal de poder dur a terme el projecte son els següents:

- El disseny de la planta comporta des de la recepció de matèries primeres fins a l'obtenció del producte final.
- La planta esta dissenyada per operar 330 dies a l'any, efectuant tres parades anuals destinades al manteniment, distribuïdes en els mesos d'abril, agost i desembre.
- Disseny i especificació tècnica de totes les unitats de procés que conformen la planta.
- Disseny i definició d'un sistema de control, instrumentació i automatisme, amb els respectius llaços de control necessaris per al monitoratge i optimització de la planta.
- Disseny de les canonades emprades a la planta, així com els accessoris corresponents i els equips pertinents relacionats amb la circulació de fluids.
- Estudi i implementació de sistema de seguretat i medi ambient, aplicant la metodologia HAZOP i anàlisis de riscos associats al procés.
- Avaluació de l'impacte ambiental del projecte, considerant emissions de gasos, efluents líquids o residus sòlids, i prioritzant la minimització d'emissions i residus per a garantir el compliment normatiu.
- Estudi econòmic del projecte, incloent-hi estudi de mercat, despeses capitals i despeses operacionals, obtenint una anàlisi de rendibilitat.
- Realització d'un protocol de posada en marxa, operació i aturada de procés.
- Realització del manual de càlcul, on s'indicaran totes les equacions emprades en el disseny de la planta.
- Dimensionament i distribució de les diferents àrees que formen part de la planta, tenint en compte àrees de serveis i àrees auxiliars.
- Dimensionament global de la planta, realitzant representacions gràfiques mitjançant plànols i diagrames de procés (P&ID).

1.1.3 Localització

La planta de FormalAir s'ubicarà en una parcel·la al polígon industrial Satèl·lits, al Complex Petroquímic de Tarragona, situat al terme municipal de Tarragona, comarca del Tarragonès, província de Tarragona (Catalunya, Espanya).

El complex Petroquímic de Tarragona, construït a partir de l'any 1971, és una àrea industrial que agrupa diverses empreses de l'àmbit químic. La densitat industrial més elevada es troba en la denominada zona Trebol, on es forma un gran complex industrial que continua amb els termes municipals de La Canonja i Vilaseca, i, en grau més baix, les poblacions de Reus, Salou, Constantí, El Morell i La Pobla de Mafumet.

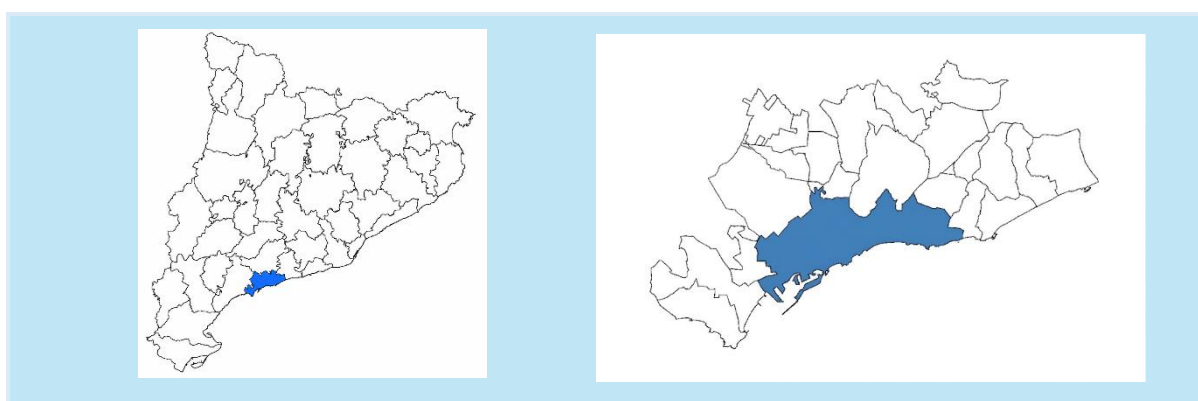


Figura 1.1 Ubicació de la comarca del Tarragonès (esquerra) i del municipi de Tarragona (dreta)

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

El següent apartat es descriuen les principals característiques de la parcel·la de la planta de FormalAir, posant especial atenció als paràmetres d'edificació aplicable segons la normativa vigent, així com els principals serveis disponibles de la planta.

Taula 1.1 Paràmetres d'edificació de la parcel·la

Paràmetre	Descripció
Edificabilitat	1,5 m ² sostre / m ² sòl
Ocupació màxima de parcel·la	75%
Ocupació mínima de parcel·la	20% de la superfície màxima d'ocupació
Reculades	5 metres a vials i veïns
Alçada màxima	16 m i 3 plantes (excepte producció justificada)
Alçada mínima	4 m i 1 planta
Pàrquing	1 plaça / 150 m ² construïts
Distància entre edificis	1/3 de l'edifici més alt (mínim 5 m)

En la següent taula es pot observar els diferents serveis que la planta té a la seva disposició:

Taula 1.2 Serveis disponibles a la planta

Servei	Connexió
Energia elèctrica	Connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la
Gas natural	Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm ²)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m
Aigua d'incendis	La màxima pressió és de 4 kg/cm ²
Aigua de xarxa	Escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm ²

Per finalitzar, a la següent figura es mostra el plànol de la parcel·la de la planta de FormalAir.

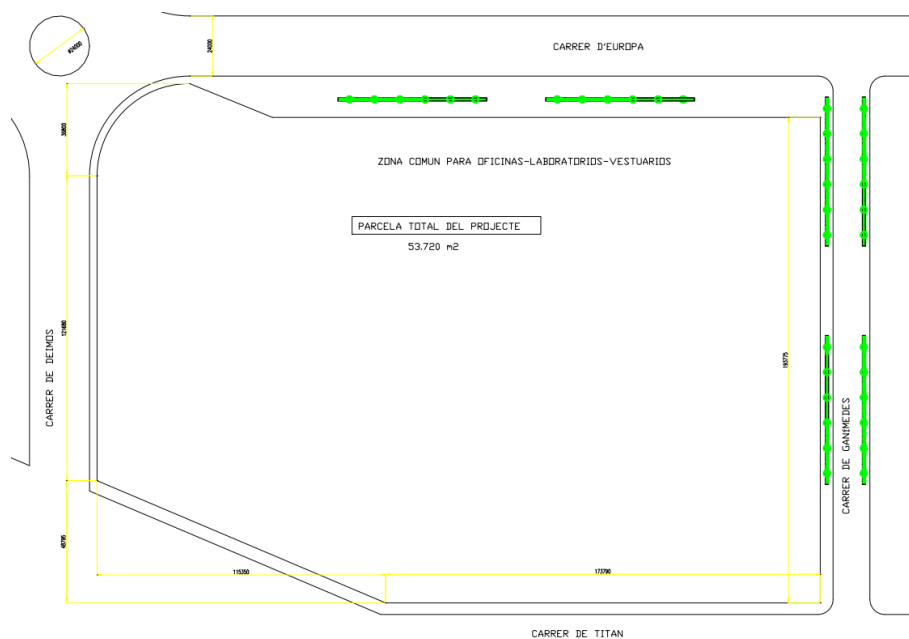


Figura 1.2 Plànol de la parcel·la

1.1.5 Comunicacions

Un dels punts més importants per la viabilitat econòmica del projecte és tenir una bona comunicació i accessibilitat. Una correcta comunicació permet una bona recepció de matèries primeres, així com una bona comercialització del producte final, afavorint el creixement econòmic del projecte.

El Complex Petroquímic de Tarragona disposa d'una ubicació estratègica en el Mediterrani, amb una elevada connectivitat per diferents mitjans de transport, que facilita el subministrament de matèries primeres i la distribució de productes finals.

A continuació es presenta un anàlisi de les principals vies de comunicació i mitjans de transports disponibles al municipi de Tarragona.

1.1.5.1 Comunicació terrestre

L'accés per carretera és un dels pilars logístics de qualsevol empresa, permetent una connexió directa amb punts de gran interès logístic i comercials.

La principal carretera que es troba al complex és l'AP-7 (autopista del Mediterrani), carretera que connecta Tarragona amb la resta de la costa Mediterrània espanyola. Altres carreteres d'alta importància són la A-7, alternativa gratuïta a l'autopista AP-7, l'AP-2, que connecta Tarragona amb l'interior peninsular, i carreteres nacionals com l'N-340, N-240 i N-420.



Figura 1.3 Mapa de carreteres de Tarragona

1.1.5.2 Comunicació aèria

Tot i que no és el principal mitjà de transport pels productes químics, és un mitjà de transport important pel personal, gestions i mercaderies urgents.

El complex petroquímic de Tarragona compta amb l'Aeroport de Reus, situat a uns 10 kilòmetres de distància del complex, amb connexions nacionals i internacionals.

Per altra banda, a uns 90 kilòmetres de distància, es troba l'Aeroport Josep Tarradellas Barcelona-El Prat, un dels principals aeroports de l'estat espanyol.



Figura 1.4 Principals rutes de l'Aeroport de Reus



Figura 1.5 Principals rutes de l'Aeroport Josep Tarradellas Barcelona-El Prat

1.1.5.3 Comunicació marítima

El transport marítim és clau dintre de la indústria química, i Tarragona compte amb un dels principals ports logístics del Mediterrani, que presenta un dels motors econòmics de Catalunya, amb una gran capacitat d'emmagatzematge i que gestiona prop del 25% del material químic que arriba a la península Ibèrica.

El port està perfectament comunicat amb la resta de ports situats a les costes mediterrànies, així com la resta de ports a escala mundial.

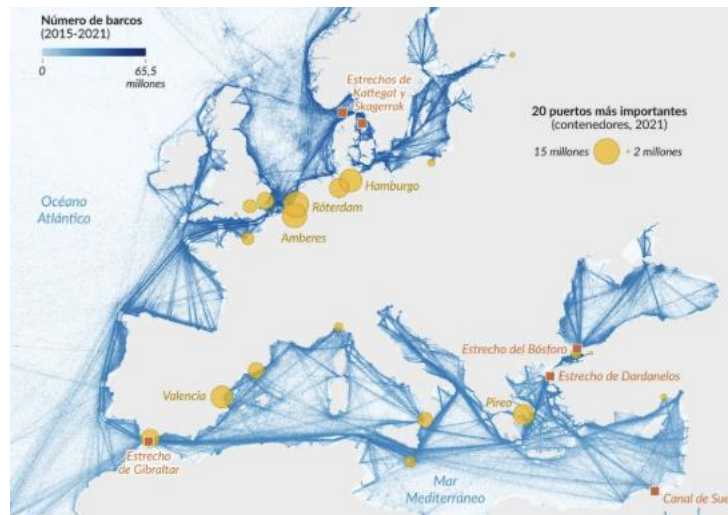


Figura 1.6 Xarxa portuària del port de Tarragona

1.1.5.4 Comunicació ferroviària

Una bona part del tràfic de mercaderies es realitza mitjançant les comunicacions ferroviàries. Tarragona, compte amb una gran connexió ferroviària, enllaçant el complex amb les principals ciutats espanyoles d'alta importància, com Barcelona, Madrid o València, així com una connexió amb la resta d'Europa.

Les connexions ferroviàries van des de trens regionals, que recorren la resta de Catalunya, fins trens d'alta velocitat, que comuniquen grans distàncies. A més, està en procés de construcció el Corredor de Mercaderies, un conjunt de línies transeuropees que connecten els principals punts de la costa mediterrània.

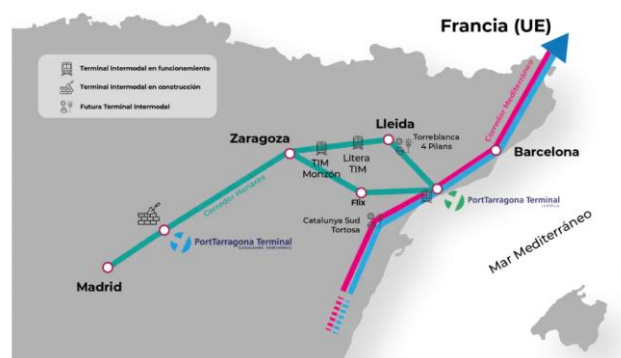


Figura 1.7 Xarxes ferroviàries de Tarragona

1.1.6 Condicions climatològiques

La zona de Tarragona presenta un clima mediterrani litoral, caracteritzat per uns estius altament calorosos, mentre que l'hivern és suau, amb precipitacions moderades.

La temperatura anual Mitjana es troba entre els 16 i 17 °C, amb hiverns que ronden els 10 °C de temperatura i estius que augmenten fins més de 30 °C de mitjana. La primavera i la tardor presenten climes suaus, amb temperatures estables i un augment de les precipitacions. Aquestes temperatures s'han tingut en compte a l'hora del disseny de la planta.

Les precipitacions ascendeixen a 500 L/m², sent bastant escasses inclús pel clima mediterrani.

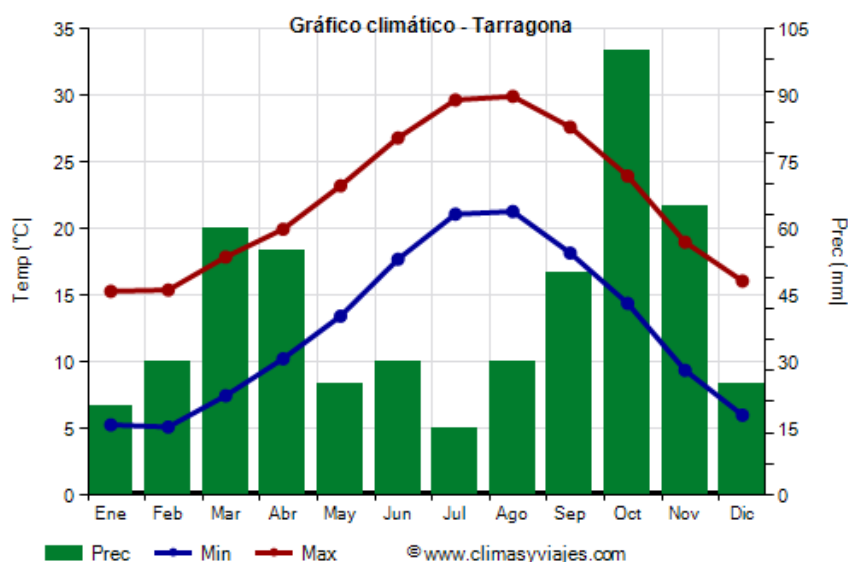


Figura 1.8 Característiques mitjanes anuals a la zona de Tarragona

Degut a la proximitat de la zona amb el mar, un dels aspectes climàtics a tenir en compte és el vent. L'influència del vent pot ser determinant en l'aspecte mediambiental, on pot tenir un impacte directe en la dispersió de contaminants a l'atmosfera.

En la zona predominen brises marines a l'estiu, que actuen com regulador tèrmic, mentre que a l'hivern es presenten vents del nord-est.

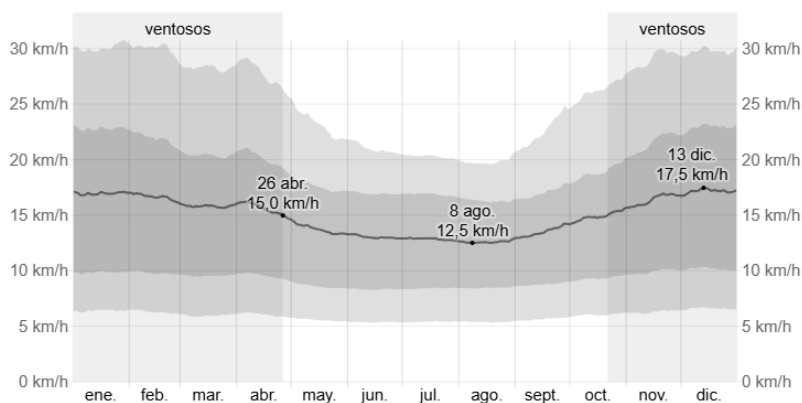


Figura 1.9 Velocitat del vent mitjana a la zona de Tarragona

L'últim aspecte mediambiental a tenir en compte és la humitat, on en la zona de Tarragona varia de manera extrema al llarg de l'any.

El període d'estiu té una humitat extrema, amb un nivell de comoditat insuportable i amb una xafogor extrema, mentre que la resta de l'any la humitat disminueix considerablement.

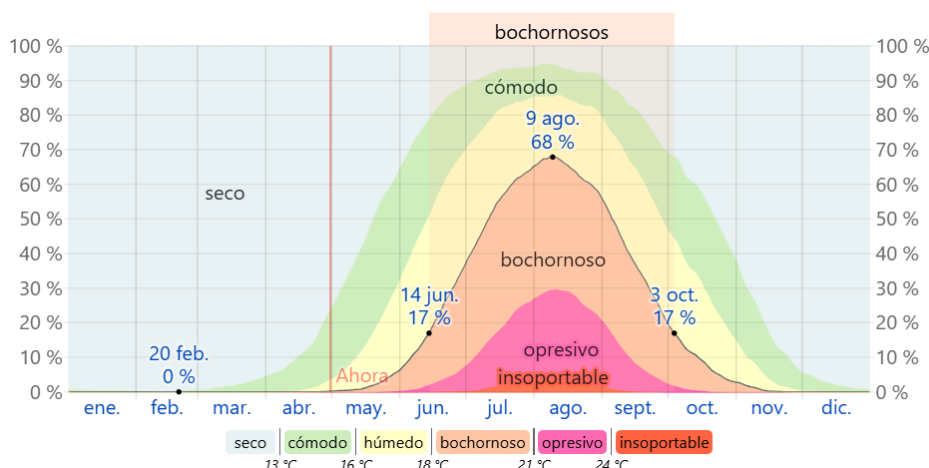


Figura 1.10 Variació de la humitat al llarg de l'any a la zona de Tarragona

A causa de la proximitat de la planta de FormalAir al mar, la salinitat ambiental és un factor crític que s'ha de tenir en compte a l'hora de la selecció de material i manteniment.

La presència de clorurs en l'aire accelera els processos de corrosió en estructures metàl·liques, canonades i equips que es troben exposats a l'exterior. Menysprear aquest factor pot derivar en falles estructurals i problemes de seguretat.

1.2 Característiques dels components

En aquest apartat es descriuran les característiques principals dels components implicats en el procés, amb l'objectiu d'establir una base per al disseny de la planta. En aquest apartat son considerats absolutament tots els components que es troben a la planta, fent èmfasi en les seves propietats físiques i químiques.

El coneixement de les propietats és fonamental per la selecció d'equips, així com el dimensionament de les operacions unitàries i definició de les condicions d'operació. També és important conèixer les propietats, ja que són factors clau en els aspectes de seguretat i medi ambient.

1.2.1 Metanol

El metanol és l'alcohol més simple, caracteritzat per ser un líquid a temperatura ambient, incolor, volàtil, inflamable i extremadament tòxic. És un dissolvent industrial, i és la principal matèria prima per a la formació del formaldehid. També és emprat com a anticongelant o com a combustible.

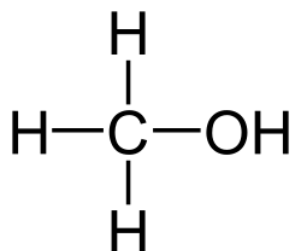


Figura 1.11 Estructura molecular del metanol

A la següent Taula 1.3. es mostren les propietats físiques del metanol.

Taula 1.3 Propietats físiques del metanol

Fórmula	CH ₃ -OH
Pes molecular (g/mol)	32,04
Estat (20 °C)	Líquid
Aparença	Incolor
Densitat (kg/m ³)	791,8
Punt de fusió (°C)	-97,16
Punt d'ebullició (°C)	64,7
Viscositat (mPa·s) a 20 °C	0,59
Pressió de vapor (kPa)	12,9
Punt d'inflamabilitat (°C)	12

1.2.2. Aire

L'aire atmosfèric constitueix una de les matèries primeres del procés, ja que és la principal font d'oxigen necessari per poder dur a terme les reaccions implicades. L'aire és una mescla gasosa abundant, el que el converteix en un recurs accessible i econòmic.

L'aire atmosfèric consta d'un 21% d'oxigen, un 78% de nitrogen i traces de gasos com argó, heli o ozó. Depenent de la humitat, pot tenir entre un 0 i un 4% de vapor d'aigua en la seva composició. En el present projecte només s'han considerat els components d'oxigen i nitrogen de l'aire atmosfèric.

En el context de la planta de FormalAir, l'oxigen no se subministra de forma pura, sinó que s'utilitza directament a partir de l'aire, cosa que implica altres components a part de l'oxigen.

Taula 1.4 Propietats físiques de l'aire

Fórmula	-
Pes molecular (g/mol)	28,97
Estat (20 °C)	Gas
Aparença	Incolor
Densitat (kg/m3)	1,20
Punt de fusió (°C)	-215
Punt d'ebullició (°C)	-194
Viscositat (mPa·s) a 20 °C	0,018
Pressió de vapor (kPa)	-
Punt d'inflamabilitat (°C)	-

1.2.2 Formaldehid

El formaldehid és un compost orgànic de gran rellevància en la indústria química, àmpliament emprat com a intermedi en la fabricació de nombrosos productes. És una matèria prima clau en l'obtenció de resines, plàstics i altres components.

En el context de la planta, el formaldehid és el producte principal de la reacció, que s'obté a partir de l'oxidació catalítica del metanol. El formaldehid es troba en estat gas a temperatura ambient, però es comercialitza com una solució aquosa.

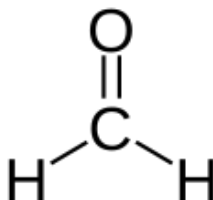


Figura 1.12 Estructura molecular del formaldehid

La següent Taula 1.5. presenta les propietats físiques del formaldehid al 37% en pes en solució aquosa. Aquestes característiques poden variar en funció de la concentració de la solució.

Taula 1.5 Propietats físiques del formaldehid

Fórmula	CH2O
Pes molecular (g/mol)	30
Estat (20 °C)	Líquid
Aparença	Incolor
Densitat (kg/m3)	800
Punt de fusió (°C)	-92
Punt d'ebullició (°C)	98
Viscositat (mPa·s) a 20 °C	2,5

Pressió de vapor (kPa)	0,2
Punt d'inflamabilitat (°C)	83

1.2.3 Aigua

L'aigua desenvolupa un paper fonamental en la gran majoria de processos industrials, sigui com a reactiu o com a matèria auxiliar. A causa de la seva disponibilitat, té un cost econòmic, és un compost molt versàtil i és un dels recursos més utilitzats en la indústria química.

En el procés del projecte, l'aigua es troba involucrada en la majoria d'unitats de procés, ja sigui com a part de les operacions unitàries o com a servei auxiliar. La seva presència és essencial per poder entendre el funcionament de la planta.

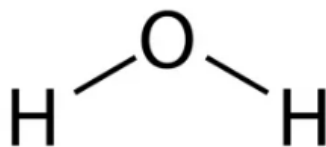


Figura 1.13 Estructura molecular de l'aigua

A continuació a la Taula 1.6. es presenten les propietats físiques de l'aigua.

Taula 1.6. Propietats físiques de l'aigua

Fórmula	H₂O
Pes molecular (g/mol)	18,01
Estat (20 °C)	Líquid
Aparença	Incolor
Densitat (kg/m³)	998
Punt de fusió (°C)	0
Punt d'ebullició (°C)	100
Viscositat (mPa·s) a 20 °C	1
Pressió de vapor (kPa)	2,34
Punt d'inflamabilitat (°C)	-

1.2.4 Monòxid de Carboni

El monòxid de carboni és un compost gasós de gran rellevància en l'àmbit industrial. Sol aparèixer com a intermedi de les reaccions o com a subproducte de reaccions orgàniques. La presència d'aquest compost requereix una especial atenció a causa de la seva implicació directa en la seguretat i el medi ambient.

En la planta, el monòxid de carboni es forma com a subproducte de la reacció d'oxidació del metanol, per la qual cosa, la seva gestió i tractament són fonamentals pel funcionament del sistema.



Figura 1.14 Estructura molecular del monòxid de carboni

A continuació Taula 1.7. es mostren les propietats físiques del monòxid de carboni.

Taula 1.7 Propietats físiques del monòxid de carboni

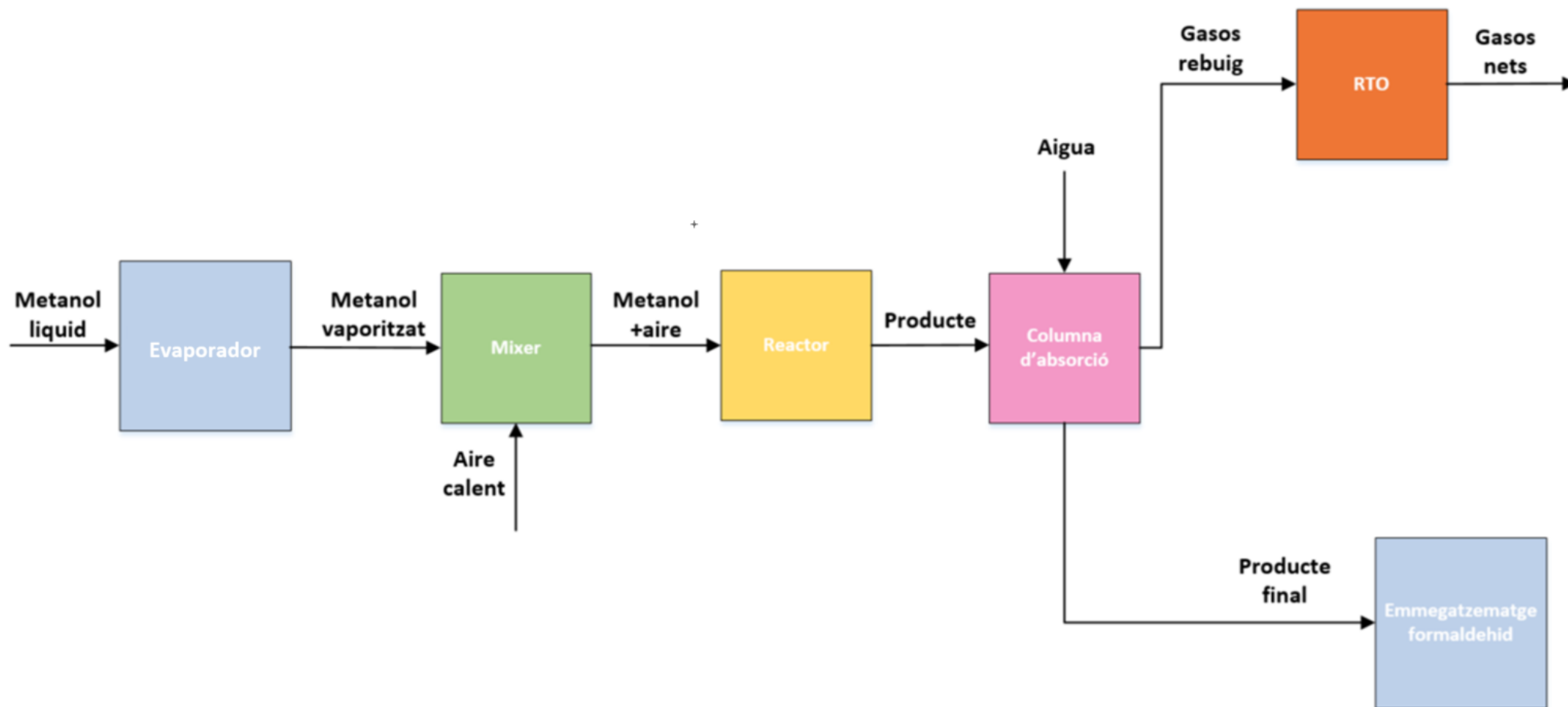
Fórmula	CO
Pes molecular (g/mol)	28,01
Estat (20 °C)	Gas
Aparença	Incolor
Densitat (kg/m ³)	1,18
Punt de fusió (°C)	-205
Punt d'ebullició (°C)	-191,5
Viscositat (mPa·s) a 20 °C	0,0166
Pressió de vapor (kPa)	-
Punt d'inflamabilitat (°C)	650

1.3. Descripció de procés

En el següent apartat es presenta la descripció general del procés de producció del formaldehid, abordant les principals etapes que formen part de la planta, així com el funcionament global de la instal·lació, amb l'objectiu d'oferir una visió general del procés.

1.3.2. Diagrama de blocs

Per poder entendre i visualitzar millor el procés de producció de formaldehid, es disposa del diagrama de blocs. Aquest diagrama compta la informació bàsica per poder identificar les principals etapes del procés, així com el recorregut dels corrents que intervenen en la planta.



1.3.3. Descripció de les etapes del procés

Cada etapa del procés és vital per poder dur a terme la producció de formaldehid, i cal descriure de manera correcta les diferents etapes, amb l'objectiu de comprendre el funcionament global de la planta, així com la funció de cadascuna de les operacions unitàries implicades. Cada etapa té una funció determinada, que contribueix al correcte funcionament de la instal·lació.

A continuació, es presentarà una descripció general de les principals etapes del procés de producció de formaldehid.

1.3.3.1. Emmagatzematge

L'etapa d'emmagatzematge constitueix la primera fase del procés de producció, i té la funció de garantir el subministrament continu i segur de les matèries primeres necessàries per a la producció de formaldehid així com emmagatzemar de manera correcta i segura el producte acabat. Aquesta etapa permet tenir una reserva suficient de reactius per poder assegurar l'estabilitat operativa davant les possibles variacions de producció o aturades inesperades.

La principal matèria emmagatzemada és el metanol, reactiu principal de la síntesi del formaldehid. El metanol es rep en estat líquid i és transportat mitjançant camions cisterna. Es troba emmagatzemat en tancs d'emmagatzematge específicament dissenyats per a la conservació i protecció de productes inflamables.

A causa del fet que el metanol és una substància altament inflamable, l'etapa d'emmagatzematge requereix un rigorós control de les condicions operatives. Per aquest motiu, els tancs disposen de diversos sensors i sistemes de control per assegurar la seguretat de l'emmagatzematge.

Per altra banda, l'oxigen que s'utilitza en la reacció s'extreu directament de l'atmosfera, per tant, no és necessari el seu emmagatzematge. Per poder obtenir l'aire de l'atmosfera, es fa servir una parella de bufadors de suport magnètic, que aspiren l'aire i l'impulsen cap a l'interior de la planta, entrant directament al procés. Aquests bufadors consten d'una sèrie de filtres per evitar l'entrada d'elements macroscòpics o de contaminants microscòpics que puguin afectar el correcte funcionament dels equips.

1.3.3.2. Bescanviadors

Després de l'etapa d'emmagatzematge, els corrents de metanol i aire passen per una etapa d'escalfament abans d'entrar al reactor. Aquesta etapa es duu a terme mitjançant dos bescanviadors de calor independents, un destinat a l'escalfament i vaporització del metanol i l'altre destinat a

l'escalfament de la mescla reactiva (metanol + aire). L'objectiu d'aquesta etapa és garantir el compliment de les condicions de disseny dels reactius, per tal d'afavorir el desenvolupament de la reacció, així com millorar l'eficiència del procés.

En primer lloc, el metanol, que es troba en estat líquid i que prové dels tancs d'emmagatzematge, s'escalfa fins a assolir prou temperatura per facilitar-ne la vaporització i aconseguir les condicions òptimes per a la mescla amb l'aire. Aquesta fase del procés és essencial, ja que la reacció de formació del formaldehid es produeix en fase gas, i requereix una alimentació homogènia i estable.

Per a augmentar la temperatura del metanol, el bescanviador utilitza els reactius calents que surten del reactor com a fluid tèrmic en estat gasós. En canvi, el segon bescanviador, l'utilitzat per escalfar la mescla reactiva, utilitza vapor d'aigua com a fluid tèrmic. El vapor d'aigua prové del reactor, que és emprat en el reactor per poder controlar la temperatura de la reacció. El vapor d'aigua és reutilitzat per poder escalfar els corrents de reactius, cosa que permet recuperar l'energia generada dins de la planta.

La utilització de vapor i gasos de sortida procedents del reactor representa un avantatge energètic de gran importància, reduint el consum d'energia extern i augmentant l'eficiència del procés, aprofitant la calor alliberada de la reacció química.

1.3.3.3. Reactor

Una vegada els reactius han passat per l'etapa dels bescanviadors, arribant a la temperatura d'operació òptima, arriben a la zona de reacció, on té lloc la reacció química de producció del formaldehid. Aquesta etapa és el nucli de la planta, ja que és on es produeix la conversió dels reactius cap al producte desitjat.

El reactor utilitzat és un reactor tubular catalític, dissenyat per afavorir el contacte entre reactius i el catalitzador. El catalitzador és el principal responsable que la reacció es porti a terme, cosa que permet la formació de formaldehid.

El reactor està constituït per dues parts, els tubs i la carcassa. Els reactius passen per l'interior dels tubs, on es troba el catalitzador i es duu a terme la reacció. D'altra banda, està la carcassa, que constitueix la part externa del reactor. La principal funció de la carcassa és controlar les condicions tèrmiques de la reacció, retirant la calor generada.

Per poder controlar la temperatura del reactor, és fa ús d'un fluid refrigerant, en aquest cas, aigua líquida. L'aigua permet controlar la temperatura del reactor, fent que arribi a una temperatura màxima que es troba dictada per les condicions òptimes d'operació i seguretat de la planta.

L'aigua entra al reactor uns graus per sota de la seva temperatura d'ebullició, aconseguint retirar l'energia generada en forma de calor a l'interior del reactor, canviant de fase a estat gasós, d'aquesta manera aprofitant al màxim el calor latent d'aquest fluid.

1.3.3.4. Absorbidor

La següent etapa que té lloc a la planta de FormalAir és l'etapa d'absorció. En aquesta etapa, el corrent gasós obtingut a la sortida del reactor passa per una torre d'absorció amb rebliments per poder separar el formaldehid i metanol de la resta de components.

Prèviament, el corrent gasós de productes ha de passar per un bescanviador de calor de carcassa i tubs per refredar-se. L'absorció de formaldehid i metanol en aigua està afavorida per una temperatura d'operació baixa, per tant aquesta etapa de refredament prèvia és important.

Com que el formaldehid presenta una elevada solubilitat amb l'aigua, el procés d'absorció permet separar-lo de la fase gasosa mitjançant un corrent líquid a l'interior de la columna.

L'absorbidor opera en contra corrent, ja que afavoreix la transferència de matèria entre les dues fases, maximitzant la recuperació de formaldehid. El corrent provinent del reactor s'introdueix a la part inferior de la columna, i ascendeix fins a la part superior. Per altra banda, l'aigua destinada a la separació s'introdueix a la part superior de la columna i circula cap a baix per gravetat. Els gasos que no són absorbits surten de la columna d'absorció per la part superior, mentre que per la part inferior surt una solució líquida de formaldehid i aigua.

L'etapa d'absorció juga un paper fonamental en el procés, ja que determina la recuperació final de formaldehid i la qualitat del producte, augmentant l'eficiència de la planta, reduint pèrdues de producte i contribuint a un procés eficient.

1.3.3.5 Tractament d'efluents gasosos

Degut que l'eficiència de la torre d'absorció no es del 100%, els gasos inerts, juntament amb petites traces de metanol, formaldehid i el monòxid de carboni, que es forma com a subproducte de la reacció principal, han de ser tractats correctament abans d'alliberar-los a l'atmosfera. Existeix una normativa

ambiental que estableix els nivells límit d'emissions de contaminants orgànics volàtils (COVs) que es poden emetre a l'atmosfera.

Per tal de tractar aquests gasos de manera eficaç i tenint en compte la eficiència energètica del procés, la planta de FormalAir compta amb un oxidador tèrmic regeneratiu (RTO) com a equip de tractament final. L'objectiu de l'RTO és la oxidació tèrmica completa mitjançant la incineració de la corrent de gasos, un procés exotèrmic, que permet en el cas de la planta de FormalAir que aquest equip sigui totalment autosuficient i no requereixi una font externa de combustible per mantenir la seva activitat.

Els gasos entren a la cambra d'incineració a través d'una primera torre on es preescalfen fins al voltant dels 815°C. A la cambra d'incineració, on el temps de residència no supera el segon, pugen de temperatura fins als 850°C, provocant que els COVs s'oxidin per complet i es degradin en CO₂ i vapor d'aigua. Per últim els gasos surten per una segona torre, cedint gran part de la seva energia tèrmica, fet que provoca que la temperatura final de sortida dels gasos es redueixi fins als 120°C.

La reducció en la concentració de COVs és d'entre el 98 i el 99%, complint perfectament amb la normativa mediambiental vigent, assegurant un impacte mínim i una gran eficiència del procés, ja que són els propis gasos els que cedeixen l'energia als llits ceràmics de les torres per a poder preescalfar els gasos freds d'entrada.

1.3.4. Reaccions principals

Per poder dur a terme la producció de formaldehid, s'utilitzarà el mètode FORMOX. Aquest mètode és el més emprat actualment a la indústria química. El mètode FORMOX es basa en l'oxidació catalítica de metanol fent servir catalitzadors d'òxids metàl·lics. En el cas de FormalAir, es farà ús d'una mescla d'òxid de molibdè i òxid de ferro com a catalitzador, que presenta una alta selectivitat cap a la formació de formaldehid, així com un menor consum energètic i una alta seguretat en la seva utilització.



Figura 1.15 Catalitzador d'òxid de ferro i molibdè

La matèria primera que s'utilitza és el metanol, que se subministra de manera externa i es emmagatzemat en tancs, que juntament amb aire atmosfèric, reaccionen a un reactor tubular catalític per poder obtenir formaldehid. La reacció d'oxidació és una reacció altament exotèrmica, per tant, el control de temperatura és un aspecte crític del procés.

La principal reacció que té lloc dintre del reactor és la següent:

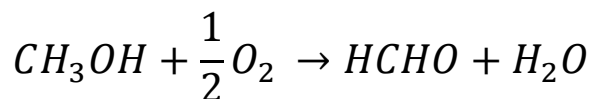


Figura 1.16 Reacció d'oxidació per la formació de formaldehid

En aquesta reacció, el metanol reacciona amb l'oxigen atmosfèric per formar formaldehid i aigua. Com s'ha comentat anteriorment, és una reacció altament exotèrmica, per tant, aquesta calor s'aprofitarà dins del procés.

1.3.5. Reaccions secundaries

A més de la reacció principal, dins del reactor també té lloc una reacció secundària no desitjada. Aquesta reacció disminueix el rendiment global del procés, ja que consumeix els reactius per formar productes no desitjats.

Tot i això, gràcies a l'alta selectivitat del catalitzador, la formació de productes no desitjats es minimitza considerablement, afavorint l'obtenció de formaldehid amb un elevat rendiment i reduint la generació de subproductes.

La principal reacció secundària que té lloc durant el procés és la formació de monòxid de carboni a partir del formaldehid produït. Aquesta reacció es produeix a conseqüència de l'oxidació excessiva del formaldehid quan les condicions d'operació no són les òptimes, especialment a elevades temperatures o en excés d'oxigen.

La generació de monòxid de carboni representa una disminució del rendiment global del procés, ja que part del formaldehid obtingut es transforma en un producte no desitjat, afectant negativament l'eficiència global de la planta.

Per aquest motiu, és essencial controlar adequadament les condicions de reacció i del catalitzador, amb l'objectiu de minimitzar la formació de productes no desitjats.

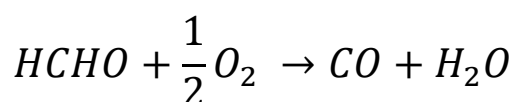


Figura 1.17 Reacció d'oxidació del formaldehid

Com s'observa en la Figura 1.17, la reacció secundària que té lloc és l'oxidació de formaldehid, produint monòxid de carboni i vapor d'aigua a partir de formaldehid i oxigen.

1.4. Balanç de matèria i balanç d'energia

El balanç de matèria és una de les eines fonamental del disseny de la planta. Permet estudiar i quantificar el comportament dels diferents corrents que intervenen al llarg del procés. Amb el balanç de matèria es pot quantificar la quantitat de matèria que entra i surt del sistema, així com la que és re circula o es transforma al llarg del procés.

L'objectiu principal del procés del balanç de matèria és garantir la coherència del procés, així com conèixer les composicions dels corrents del procés. Saber les característiques de cada corrent permet dimensionar els equips de la planta, proporcionant la informació necessària per definir les condicions d'operació de la planta.

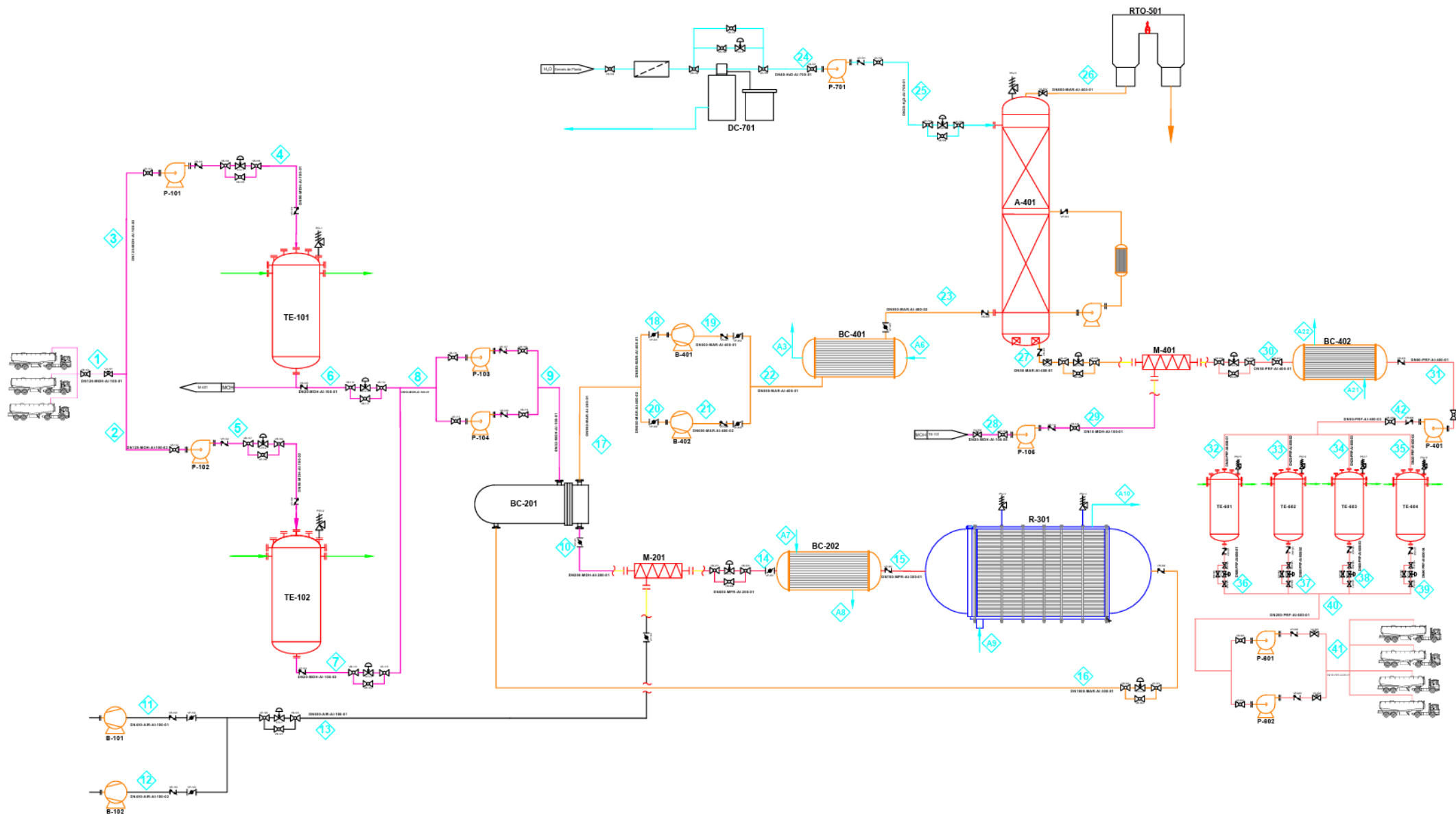
Per altra banda, en aquest apartat també es presentarà el diagrama de procés, representació gràfica que mostra el procés global, així com els corrents que intervenen en el procés.

També es mostra el balanç d'energia, amb l'objectiu d'analitzar els intercanvis energètics al llarg del procés, i poder determinar les necessitats tèrmiques dels equips, quantificant l'energia generada o consumida.

1.4.1. Diagrama de procés

El diagrama de procés és una eina fonamental per la comprensió del procés, ja que facilita la interpretació de la instal·lació i connexió dels diferents equips del procés. Mitjançant el diagrama de procés es mostren les operacions unitàries i el recorregut dels corrents al llarg de la planta.

En la següent Figura, es mostra el diagrama de procés de la planta de producció de formaldehid.



1.4.2. Característiques dels corrents

Per tal de tenir la màxima informació del procés de producció, en el següent apartat es mostrarà en detall les principals característiques de les canonades, com ara la composició, cabal o temperatura de les canonades.

	ESPECIFICACIONS DELS CORRENTS									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Numero de corrent										
Temperatura (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,00	25,05	84,25
Pressió (Bar)	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	1,013	2,113	2,102
Cabal màssic (kg/h)	70740,00	35370,00	35370,00	35370,00	35370,00	2490,00	2490,00	4980,00	4980,00	4980,00
Cabal molar (kmol/h)	2207,73	1103,86	1103,86	1103,86	1103,86	79,35	79,35	158,74	158,74	158,70
Cabal volumètric (m³/h)	90,00	45,00	45,00	45,00	45,00	3,24	3,24	6,39	6,39	2121,00
Fracció de Vapor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,946
Fraccions molars										
Metanol	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Oxigen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nitrogen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Formaldehid	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aigua	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

	ESPECIFICACIONS DELS CORRENTS									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Numero de corrent										
Temperatura (°C)	116,22	116,22	116,22	107,20	158,64	200,00	103,30	103,30	128,20	103,30
Pressió (Bar)	2,102	2,102	2,102	2,102	2,040	1,327	1,126	1,126	1,350	1,126
Cabal màssic (kg/h)	25148,50	25148,50	50297,00	56738,02	56738,02	55244,00	55244,00	27622,00	27622,00	27622,00
Cabal molar (kmol/h)	895,16	895,16	1790,33	1949,08	1949,08	2041,00	2041,00	1020,50	1020,50	1020,50
Cabal volumètric (m³/h)	13800,00	13800,00	27600,00	29320,00	34530,00	60500,00	56720,00	28360,00	25225,00	28360,00
Fracció de Vapor	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Fraccions molars										
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,0896	0,0896	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Oxigen	0,2329	0,2329	0,2329	0,212	0,212	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949	0,0949
Nitrogen	0,7671	0,7671	0,7671	0,6983	0,6983	0,7172	0,7172	0,7172	0,7172	0,7172
Formaldehid	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0908	0,0908	0,0908	0,0908	0,0908
Aigua	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0953	0,0953	0,0953	0,0953	0,0953
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007	0,0007

 FORMALAIR	ESPECIFICACIONS DELS CORRENTS									
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Numero de corrent										
Temperatura (°C)	128,20	128,20	87,34	25,00	25,00	39,80	68,14	25,00	25,00	64,38
Pressió (Bar)	1,350	1,350	1,304	1,013	1,300	1,013	1,300	1,300	1,300	1,300
Cabal màssic (kg/h)	27622,00	55244,00	55244,00	4223,84	4223,84	47183,15	12290,00	1199,70	1199,69	13370
Cabal molar (kmol/h)	1020,50	2041,00	2041,00	235,90	235,90	1704,42	571,40	37,44	37,44	609,78
Cabal volumètric (m³/h)	25225,00	50450,00	47030,00	4,26	4,26	43810,00	14,80	1,51	1,51	16,31
Fracció de Vapor	1,000	1,000	1,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fraccions molars										
Metanol	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,0012	0,000	1,000	1,000	0,0888
Oxigen	0,0949	0,0949	0,0949	0,000	0,000	0,1111	0,000	0,000	0,000	0,0000
Nitrogen	0,7172	0,7172	0,7172	0,000	0,000	0,8397	0,0001	0,000	0,000	0,0001
Formaldehid	0,0908	0,0908	0,0908	0,000	0,000	0,0004	0,4060	0,000	0,000	0,3700
Aigua	0,0953	0,0953	0,0953	0,000	0,000	0,0467	0,5938	0,000	0,000	0,5411
Monòxid de carboni	0,0007	0,0007	0,0007	0,000	0,000	0,0009	0,000	0,000	0,000	0,0000

	ESPECIFICACIONS DELS CORRENTS									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
Numero de corrent										
Temperatura (°C)	31,70	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68	31,68
Pressió (Bar)	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272	1,272
Cabal màssic (kg/h)	13510,54	3377,63	3377,63	3377,63	3377,63	44400,00	44400,00	44400,00	44400,00	177600,00
Cabal molar (kmol/h)	609,78	152,44	152,44	152,44	152,44	2100,33	2101,33	2102,33	2103,33	8417,32
Cabal volumètric (m³/h)	15,48	3,87	3,87	3,87	3,87	40,00	40,00	40,00	40,00	160,00
Fracció de Vapor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fraccions molars										
Metanol	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888	0,0888
Oxigen	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
Nitrogen	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Formaldehid	0,3700	0,3700	0,3700	0,3700	0,3700	0,3700	0,3700	0,3700	0,3700	0,3700
Aigua	0,5411	0,5411	0,5411	0,5411	0,5411	0,5411	0,5411	0,5411	0,5411	0,5411
Monoxid de carboni	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

 FORMALAIR	ESPECIFICACIONS DELS CORRENTS									
	41	42								
Numero de corrent										
Temperatura (°C)	31,68	31,70								
Pressió (Bar)	1,272	1,272								
Cabal màssic (kg/h)	177600,00	13510,54								
Cabal molar (kmol/h)	8417,32	609,78								
Cabal volumètric (m³/h)	160,00	15,56								
Fracció de Vapor	0,000	0,000								
Fraccions molars										
Metanol	0,0888	0,0888								
Oxigen	0,0000	0,0000								
Nitrogen	0,0001	0,0001								
Formaldehid	0,3700	0,3700								
Aigua	0,5411	0,5411								
Monòxid de carboni	0,0000	0,0000								

	ESPECIFICACIONS DELS CORRENTS DE SERVEI									
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10
Numero de corrent										
Temperatura (°C)	25,00	34,91	99,14	36,86	35,18	34,91	200,00	113,60	198,22	200,00
Pressió (Bar)	1,115	1,093	1,114	1,094	1,093	1,115	15,000	15,000	14,976	15,000
Cabal màssic (kg/h)	2775,45	2775,45	8000,00	8000,00	58000,00	8000,00	1325,00	1325,00	1575,00	10728,00
Cabal molar (kmol/h)	50000,00	50000,00	444,07	444,07	3219,52	444,07	73,55	73,55	87,43	595,50
Cabal volumètric (m³/h)	50,10	50,10	8,02	8,02	58,12	8,02	192,90	1,33	1,58	1562,10
Fracció de Vapor	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	0,000	1,000
Fraccions molars										
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Oxigen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nitrogen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Formaldehid	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aigua	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

	ESPECIFICACIONS DELS CORRENTS DE SERVEI									
	A11	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A20	A21	A22
Numero de corrent										
Temperatura (°C)	200,00	200,00	163,60	126,82	160,47	195,76	198,28	200,00	25,00	40,58
Pressió (Bar)	15,000	15,000	14,985	14,985	14,985	14,985	15,000	15,000	1,115	1,097
Cabal màssic (kg/h)	125,00	125,00	1325,00	125,00	1450,00	1450,00	125,00	9153,00	25000,00	25000,00
Cabal molar (kmol/h)	6,94	6,94	73,55	6,94	80,49	80,49	6,94	508,07	1387,72	1387,72
Cabal volumètric (m³/h)	16,56	16,56	1,33	0,13	1,45	1,45	0,13	1212,77	25,02	25,02
Fracció de Vapor	1,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080	1,000	0,000	0,000
Fraccions molars										
Metanol	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Oxigen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nitrogen	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Formaldehid	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Aigua	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Monòxid de carboni	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Capítol 1. Especificacions del projecte

1.4.3. Comprovació del balanç de matèria

Comprovar que el balanç de matèria és essencial per poder determinar la coherència dels càlculs realitzats al llarg del procés, assegurant que es compleix el principi de conservació de la massa. Segons aquest principi, la quantitat de matèria que entra ha de ser igual a la quantitat de matèria que surt, independentment de la seva composició.

Aquest apartat permet validar els resultats obtinguts i comprovar que no existeixen desviacions entre les entrades i sortides del procés, garantint la fiabilitat i coherència del procés.

Taula 1.8. Corrents involucrats en el balanç de matèria global

	Unitats	8	13	24	26	29	31
Fracció Vapor		0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	0,000
Temperatura	°C	25,00	116,22	24,99	39,80	25,00	31,69
Pressió	bar	1,013	2,105	1,013	1,013	1,300	1,271
Cabal molar	kmol/h	158,74	1790,33	235,91	1704,41	37,44	609,77
Cabal màssic	kg/h	4980,00	50297,00	4223,84	47183,15	1199,69	13510,54
Cabal volumètric	m ³ /h	6,39	27600,00	4,25	43810,00	1,50	15,47
Fraccions màssiques							
Formaldehid		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,370
H ₂ O		0,000	0,000	1,000	0,047	0,000	0,541
CO		0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Nitrogen		0,000	0,767	0,000	0,840	0,000	0,000
Metanol		1,000	0,000	0,000	0,001	1,000	0,089
Oxigen		0,000	0,233	0,000	0,111	0,000	0,000

Taula 1.9. Resultat del balanç de matèria

	ENTRADES	SORTIDES
Cabal màssic (kg/h)	60700,53	60693,69
Error	6,84	
Error (%)	0,01%	

1.4.4. Balanç d'energia

El balanç d'energia és essencial per poder analitzar els intercanvis energètics que tenen lloc dins de la planta de producció. Mitjançant aquest estudi és possible determinar l'energia absorbida o alliberada per cada equip del procés, així com identificar les necessitats tèrmiques d'aquest.

L'objectiu és analitzar el comportament energètic del sistema i poder establir una optimització energètica dels equips de la instal·lació.

En el cas de FormalAir, s'ha realitzat un balanç global d'energia, agafant les entrades i les sortides que s'esmenten a l'apartat anterior, per tal de quantificar la calor total que desprèn el procés, que posteriorment es retirarà amb els equips adients. Per tal de realitzar el balanç, s'han buscat les calors específiques i les entalpies de formació dels components tant en estat gas com en estat líquid, degut a que hi ha entrades i sortides en ambdues fases. Els resultats dels càlculs estan a la Taula 1.11.

Taula 1.10. Balanç d'energia global.

Resultats del balanç	
Total entrades (Mj/h)	-108416
Total sortides (Mj/h)	-172179
Calor net a retirar (Mj/h)	-63762

Com es pot observar, el procés exotèrmic dona com a resultat una quantitat de calor més gran a la sortida del procés que a la entrada. Això es veu reflexat pel signe negatiu de la quantitat de calor global.

Es necessari, per tant, comptar amb alguns equips que retirin aquesta calor. En el cas de la planta de FormalAir, aquest equip és la torre de refrigeració principalment.

1.5. Àrees de la planta

En el següent apartat es descriuen les diferents àrees que conformen la planta industrial, així com la funció que exerceix cada una dins del procés productiu. La distribució d'aquestes zones s'ha realitzat tenint en compte els criteris d'operativitat, seguretat i eficiència.

1.5.1. Àrea 100 (Emmagatzematge de matèries primeres)

L'àrea 100 correspon a la zona d'emmagatzematge de les matèries primeres necessàries per al funcionament de la planta. Aquesta àrea té com a objectiu garantir el subministrament continu i segur dels reactius emprats en el procés, assegurant que es disposi de la capacitat d'emmagatzematge necessària per cobrir les necessitats d'operació, tenint en compte possibles interrupcions.

En aquesta zona es troben els tancs d'emmagatzematge de metanol, dissenyats específicament per tal de complir els objectius operatius, de seguretat i medi ambient.

En l'àrea 100 també consten de dues bufadores que agafen l'aire atmosfèric necessari perquè la reacció tingui lloc, proporcionant el cabal d'aire requerit per al correcte funcionament del procés, assegurant les condicions d'operació.

1.5.2. Àrea 200 (Vaporització de metanol i mescla de gasos)

L'àrea 200 està destinada a la vaporització del metanol i la preparació de la mescla de gasos que posteriorment alimentarà el reactor. Aquesta etapa permet condicionar els reactius en les condicions òptimes d'operació abans de l'etapa de reacció.

En aquesta àrea, el metanol líquid és escalfat mitjançant un bescanviador de calor, canviant de fase líquida a fase gas. Una vegada el metanol passa a fase gas, es procedeix a la mescla d'aquest amb aire, que a continuació alimentarà el reactor.

1.5.3. Àrea 300 (Reacció)

L'àrea 300 és l'àrea on té lloc la reacció d'oxidació del metanol, per formar formaldehid. En aquesta etapa, la mescla de gasos procedent de l'anterior etapa entra al reactor catalític, on sota unes condicions òptimes i controlades de temperatura i pressió, en presència del catalitzador, es produeix la conversió dels reactius cap al formaldehid.

Aquesta àrea és el nucli principal del procés, ja que és on es desenvolupa la reacció, per aquest motiu, cal prestar especial atenció al control de les condicions d'operació, per tal de garantir un procés estable i segur.

1.5.4. Àrea 400 (Absorció i refredament)

L'àrea 400 correspon a la secció d'absorció i refredament dels gasos que surten del reactor. En aquesta etapa se separa el formaldehid present en la composició gasos, i es transfereix a una fase líquida mitjançant aigua. Aquesta àrea és essencial, ja que contribueix a la separació del producte d'interès.

Capítol 1. Especificacions del projecte

Prèviament a l'entrada del corrent de gas a l'absorbidor, aquest és refredat, amb l'objectiu de reduir la temperatura, afavorint l'absorció a l'interior de la columna, augmentant l'eficàcia de la transferència de matèria.

A la torre d'absorció, el formaldehid se separa de la fase gasosa mitjançant un corrent d'aigua pura, que forma una solució aquosa de formaldehid. Aquesta solució surt en estat líquid per la part inferior de la torre, mentre que els gasos no desitjats, com ara l'oxigen, nitrogen o monòxid de carboni, surten per la part superior.

Posterior a la sortida del formaldehid per la part inferior de la columna, en un mesclador, s'afegeix un corrent de metanol, que dona a la mescla una estabilitat òptima per que el formaldehid no polimeritzi.

Després de realitzar la mescla amb metanol, el formaldehid passa per un bescanviador de calor, que redueix la temperatura fins arribar al punt de disseny de la comercialització.

1.5.5. Àrea 500 (Tractament de gasos d'escapament)

L'àrea 500 està destinada al tractament i gestió dels gasos que surten de la torre d'absorció. Aquests gasos no poden ser expulsats directament a l'atmosfera, per tant, han de passar per un tractament previ a la seva emissió. Aquesta etapa és essencial, ja que té un impacte directe en el medi ambient i la seguretat.

El procés de tractament es realitza mitjançant una torxa d'oxidació catalítica (RTO). En aquest equip, els gasos es transformen en compostos orgànics menys contaminants, mitjançant reaccions tèrmiques i catalítiques, reduint l'emissió de compostos orgànics volàtils i substàncies tòxiques.

Una vegada els gasos són tractats, aquest son emets a l'atmosfera en condicions compatibles amb els principals criteris ambientals i de seguretat establerts.

1.5.6. Àrea 600 (Emmagatzematge i expedició del producte final)

L'àrea 600 és l'àrea destinada a l'emmagatzematge i expedició del producte final. Aquesta àrea és l'àrea final del procés productiu i el principal objectiu és que el producte compleixi amb les especificacions comercials i de qualitat establertes.

Aquesta àrea també compte amb les instal·lacions necessàries per a la descàrrega i expedició del producte final, dissenyada considerant criteris d'operativitat i logística, assegurant una descàrrega eficient i segura.

1.5.7. Àrea 700 (Serveis auxiliars)

L'àrea 700 correspon a la secció de la planta destinada als serveis auxiliars, proporcionant el subministrament necessari per garantir un correcte funcionament de la planta. Tot i que aquesta àrea no participa directament en el procés de producció, és essencial pel funcionament d'aquest.

En aquesta àrea es localitzen els equips i instal·lacions que generen i distribueixen els serveis requerits pel procés, com ara el vapor d'aigua, l'aigua de refrigeració o l'electricitat.

1.5.8. Àrea 800 (Oficines, laboratoris, taller i sala de control)

L'àrea 800 és l'àrea de la planta destinada a les activitats externes a la producció de formaldehid. En aquesta àrea es troben les oficines administratives, laboratoris de control de qualitat, tallers de manteniment i la sala de control. Aquest conjunt d'instal·lacions constitueixen una part essencial del procés, ja que garanteixen una estabilitat i un correcte funcionament operatiu i administratiu.

En les oficines s'executen tasques administratives, de planificació i coordinació de les activitats. Els laboratoris tenen la funció d'analitzar anàlisis i assajos de diferents corrents del procés, per tal de garantir una qualitat òptima del producte final, així com de la resta de productes que intervenen en el procés.

El taller s'encarrega de les activitats de reparació i manteniment dels equips de la planta, disposant de les eines i els equips necessaris per garantir la fiabilitat i disponibilitat dels equips. La sala de control constitueix el centre de supervisió i monitoratge del procés, controlant a temps reals totes les variables de procés mitjançant els sistemes de control i instrumentació distribuïts al llarg del procés, garantint un procés estable i eficient de totes les unitats de procés, així com actuar ràpidament davant de possibles incidències o desviacions.

1.6. Serveis auxiliars

Els serveis auxiliars fan referència al conjunt d'equips o sistemes que no formen part del procés principal en cap de les seves etapes, però que són igualment essencials pel correcte funcionament de la planta i per a garantir que el procés es desenvolupi amb total normalitat. Alguns d'ells afecten directament als equips de planta i la majoria juguen també un paper fonamental en la posta en marxa de la planta. A continuació s'esmenten els principals serveis auxiliars de la planta de FormalAir.

1.6.1. Aigua de xarxa

L'aigua que no s'utilitza per a cap equip relacionat directament amb el procés i que s'utilitza a la planta prové directament de la xarxa pública. S'utilitza en els vestuaris i les oficines, així com per les labors de neteja. Es distribuïda al llarg de la planta per una xarxa de canonades separada de la xarxa principal destinada a transportar els fluids que intervenen en el procés principal.

1.6.2. Aigua descalcificada

Els equips de planta no poden abastir-se amb aigua de xarxa corrent degut a que l'alta mineralització d'aquesta podria provocar incrustacions als equips i provocar un mal funcionament, cosa que podria acabant ocasionant falles greus e inclús accidents. Per tant és necessari una xarxa d'aigua descalcificada que pugui subministrar el cabal d'aigua necessari a tots els equips de planta.

Es per això que l'aigua de xarxa es tracta mitjançant descalcificadors industrials, la qual cosa permet obtenir una font d'aigua descalcificada continua. S'han calculat les necessitats d'aigua i s'han dimensionat els descalcificadors per tal d'assegurar que el cabal d'aigua sigui el necessari en qualsevol moment.

1.6.3. Aigua contra incendis

Una part de l'aigua subministrada es destinada als equips de prevenció i lluita contra incendis, i s'emmagatzema en un tanc apart a la zona de serveis auxiliars. L'aigua arriba amb una certa pressió, però aquesta és més baixa de la pressió necessària per a alguns equips d'extinció d'incendis, com per exemple les mànegues contra incendis, que treballen en un rang proper als 8-20 bar. És per això que és necessari un sistema de bombament d'aigua per tal de fer arribar aquesta a tots els llocs de planta que ho requereixin, amb les condicions de pressió adients.

1.6.4. Aigua de refrigeració

L'ús d'aigua de refrigeració es generalitza a tota la planta degut als múltiples equips i corrents que necessiten refrigeració constant, com poden ser els bescanviadors de calor o el reactor. És per això que s'han de calcular els requeriments d'aigua de tots els equips i dimensionat una torre de refrigeració amb els paràmetres necessaris per a poder abastir d'aigua freda a tota la planta. El dimensionament i requeriments d'aquests serveis es troben al *Capítol 2, Equips*.

1.6.5. Nitrogen gas

El sistema d'inertització de tancs, essencial per a la seguretat envers l'emmagatzematge de substàncies inflamables com és el cas del metanol de la planta. El sistema de blanketing present als tancs de metanol demanda una certa quantitat de nitrogen que ve subministrada des de el tanc de nitrogen instal·lat.

1.6.6. Electricitat

Altre servei essencial tant per a la il·luminació de la planta com per a la alimentació de tots els equips, vàlvules, instruments, etc. L'electricitat de la planta ve subministrada per la xarxa elèctrica de de la línia de 20kV. El consum mig/punta de la planta és de 95487,47kW/dia. Per aquesta raó, s'ha instal·lat una estació transformadora de distribució per tal de satisfer les necessitats elèctriques de la planta.

1.6.7. Serveis de compressió d'aire

L'aire comprimit és necessari a nivell industrial per a la neteja de canonades o el manteniment d'eines pneumàtiques. Per altre costat, l'aire d'instrumentació és aire comprimit amb unes condicions especials, i per tant s'ha de sotmetre a un procés d'assecat per tal d'eliminar la humitat existent. El seu ús és exclusiu per l'accionament de determinats instruments, com poden ser les vàlvules automàtiques. La humitat podria provocar falles en el funcionament o deterior dels instruments.

1.6.8. Gas natural

El subministrament de gas natural a la planta respon a la necessitat de combustible per a la operació continua d'alguns equips com poden ser les calderes o els serveis d'higiene personal dels treballadors. També és molt necessari per a realitzar la posta en marxa d'alguns equips, com pot ser l'RTO, que necessita pujar la temperatura de la cambra de combustió, per tal de començar a funcionar de manera autosuficient.

1.7 Planificació de construcció

La planificació de la construcció constitueix una de les etapes més importants del desenvolupament de la planta. Planificar amb antelació la construcció permet organitzar de manera eficient totes les activitats necessàries per a l'execució del projecte, facilitant la coordinació entre les diferents fases de l'obra, minimitzant possibles retards en la construcció i en la posada en marxa.

Capítol 1. Especificacions del projecte

En el següent apartat s'estableix la seqüència lògica de les principals tasques necessàries per a la construcció de la planta, mitjançant el mètode d'organització del Diagrama de Gantt, definint la durada de cada tasca, així com les relacions de dependència de cadascuna.

En la Taula 1.11 es pot veure la llista de totes les tasques a realitzar per a la construcció de la planta, amb la durada i procedència de cadascuna.

Taula 1.11. Planificació de les tasques de construcció de la planta

Numero	Tasca	Duració (dies)	Procedència
A	Enginyeria del projecte	90	0:A
B	Obtenció de llicències i permisos	150	0:B
C	Enginyeria detallada del projecte	120	A:C
D	Compra i fabricació dels equips	180	C:D
E	Transport i recepció dels equips	45	D:E
F	Preparació i neteja del terreny	30	B:F
G	Moviment de terres i excavacions	60	F:G
H	Construcció de la cimentació	75	G:H
I	Construcció de les estructures de formigó	60	H:I
J	Muntatge d'estructures metàl·liques	90	I:J
K	Construcció de vials interns	45	I:K
L	Construcció pàrquing	30	K:L
M	Construcció oficines	90	I:M
N	Construcció vestuaris i serveis auxiliars	45	M:N
O	Construcció zona emmagatzematge	75	I:O

Capítol 1. Especificacions del projecte

P	Instal·lació de suports i racks de canonades	45	J:P
Q	Instal·lació d'equips	120	E,J:Q
R	Instal·lació, connexió i soldadura de canonades	120	P,Q:R
S	Instal·lació de vàlvules i accessoris	30	R:S
T	Instal·lació contra incendis	45	J:T
U	Instal·lació i connexió elèctrica	60	J:U
V	Instal·lació i connexió d'instrumentació i control	60	S:V
W	Instal·lació d'aïllament d'equips	30	Q:W
X	Aïllament de canonades	60	S:X
Y	Prova d'equips	30	W,X:Y
Z	Pintura de planta	30	Y:Z
AA	Neteja de la planta	15	Z:AA

En la següent figura es presenta el diagrama de Gantt de les tasques a realitzar.



Figura 1.18. Diagrama de Gantt de la construcció del projecte

1.8 Bibliografia

Wikipedia la enciclopedia libre. (2026, 25 de mayo). *Formaldehído*.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Formaldeh%C3%ADdo>

Wikipedia la enciclopedia libre. (2026, 4 de mayo). *Complejo Petroquímico de Tarragona*.
https://es.wikipedia.org/wiki/Complejo_Petroqu%C3%ADmico_de_Tarragona

Wikipedia la enciclopedia libre. (2026, 23 de abril). *Puerto de Tarragona*.
https://es.wikipedia.org/wiki/Puerto_de_Tarragona

Climas y Viajes. (s.f.). *Clima: Tarragona*. <https://www.climasyviajes.com/clima/espana/tarragona>

Weather Spark. (s.f.). *Datos históricos meteorológicos de 2025 en Tarragona, España*.
<https://es.weatherspark.com/h/y/45958/2025/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2025-en-Tarragona-Espa%C3%B1a>

Química.es. (s.f.). *Metanol*. En *Enciclopedia Química*.
<https://www.quimica.es/enciclopedia/Metanol.html>

Organización Internacional del Trabajo. (2017). *Fichas Internacionales de Seguridad Química: Formaldehído* (ICSC: 0695).
https://chemicalsafety.ilo.org/dyn/icsc/showcard.display?p_card_id=695&p_version=1&p_lang=es

Air Liquide España. (2021, julio). *Ficha de datos de seguridad: Monóxido de carbono*.
https://es.airliquide.com/statics/2021-07/monoxido_de_carbono.pdf