



Pro Urea
MANUFACTURING



PLANTA DE PRODUCCIÓ D'UREA

PROJECTE FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Química

UAB
Universitat Autònoma de
Barcelona

e escola
d'enginyeria

Arrue Alemany, Olga
Batista Morenó, Toni
Busqueta Sallés, Laia
Calderón Mulero, Alba
Campoy Rojas, Pau
Leal Díaz, Lorena
Sánchez Floriach, Marc

Tutor: Josep Anton Torà

Juny 2024



Pro Urea
MANUFACTURING

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'UREA

PROJECTE FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Química

CAPÍTOL 1
Especificacions

UAB
Universitat Autònoma de
Barcelona

 **escola**
d'enginyeria

TAULA DE CONTINGUTS

1.1. Definició del projecte	3
1.1.1. Bases del projecte	3
1.1.2. Abast del projecte	4
1.1.3. Localització de la planta	5
1.1.4. Abreviacions	14
1.2. Procés de producció d'urea	14
1.2.1. Mètodes d'obtenció de la urea	15
1.3. Diagrames i explicació detallada del procés	18
1.3.1. Diagrama de blocs	18
1.3.2. Diagrama de procés	19
1.3.3. Balanç de matèria.....	24
1.3.4. Explicació del procés	27
1.4. Característiques dels compostos implicats en el procés	28
1.4.1. Matèries primeres	29
1.4.2. Subproductes	31
1.4.3. Producte d'interès.....	32
1.5. Constitució de la planta	33
1.5.1. Àrea-100: Emmagatzematge de matèries primeres	34
1.5.2. Àrea-200: Reacció	35
1.5.3. Àrea-300: Separació	35
1.5.4. Àrea-400: Recirculació	36
1.5.5. Àrea-500: Concentració	36
1.5.6. Àrea-600: Tractament aigües.....	36
1.5.7. Àrea-700: Granulació	36
1.5.8. Àrea-800: Emmagatzematge urea	37
1.5.9. Àrea-900: Calderes i chillers.....	37
1.5.10. Àrea-1000: Oficines, laboratoris, taller i sala de control	38
1.5.11. Àrea-1100: Tractament de gasos i líquids.....	38
1.5.12. Àrea-1500: Ampliació.....	38
1.6. Especificacions i necessitats de servei de la planta	39

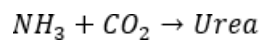
1.6.1. Aigua de xarxa	39
1.6.2. Aigua contra incendis	40
1.6.3. Aigua descalcificada	40
1.6.4. Oli tèrmic.....	40
1.6.5. Aire comprimit	41
1.6.6. Electricitat	41
1.6.7. Gas natural	42
1.7. Planificació temporal	42
1.8. Bibliografia	45

1.1. Definició del projecte

1.1.1. Bases del projecte

L'objectiu d'aquest projecte és l'estudi de la viabilitat d'una planta química que té com a finalitat la producció d'urea. La planta ha de treballar en continu durant 300 dies a l'any i tenir una capacitat de producció de 1200 tones d'urea granulada grau fertilitzant al dia. Aquest producte s'obindrà a partir de la reacció de l'amoniac amb diòxid de carboni pel procés Stamicarbon CO₂-Stripping.

L'equació general que es dona en aquest procés es pot escriure com:



Ara bé, aquesta reacció realment es dona en dues fases. En la primera s'obté carbonat d'amoni, el qual es deshidrata en la segona fase, obtenint d'aquesta manera el producte desitjat (urea).

Prèviament al desenvolupament de la planta, s'han establert les següents especificacions:

- Tenir una producció de 360.000 tones/any d'urea granulada amb un 46% de nitrogen, que és el grau que interessa per al seu posterior ús com fertilitzant.
- La planta estarà en funcionament 300 dies/any i la resta de dies es reservaran principalment per al manteniment de la planta.
- El producte final es troba en estat sòlid, granulat i es presentarà en bulk pel seu enviament en camions amb capacitat d'emmagatzematge de 30 tones.
- La planta es trobarà al terme municipal d'El Prat del Llobregat, concretament a una parcel·la del Polígon Industrial 'Gasos Nobles'. És per això que el projecte ha de complir tant la normativa urbanística d'aquest polígon com la normativa sectorial d'aplicació de seguretat, de medi ambient i de protecció contra incendis.

Tenint en compte aquestes especificacions, les normatives i les restriccions aplicades a aquest sector i en la zona on es construirà la planta, s'abordarà en els següents capítols el procés que ha desenvolupat la companyia encarregada, ProUrea Manufacturing, per garantir el correcte funcionament de la planta química.

1.1.2. Abast del projecte

A continuació, es presenten els aspectes més fonamentals que s'han de dur a terme per tal de justificar el projecte i valorar la seva viabilitat:

- Dissenyar les unitats de procés per la producció i purificació del producte.
- Dissenyar les unitats d'emmagatzematge de matèries primeres i estació de càrrega i descarrega.
- Dissenyar les unitats d'emmagatzematge pel producte final.
- Dissenyar elements de control per garantir un correcte funcionament dels equips a la planta.
- Establir elements de transport que comuniquen l'entrada i la sortida entre equips així com el seu dimensionament i el material de construcció.
- Especificar les àrees de serveis necessàries.
- Establir la ubicació d'oficines, laboratoris i vestuaris pel personal de la planta, així com de les àrees auxiliars com poden ser el pàrquing, controls d'accessos, contra incendis i depuració d'aigües i gasos.
- Especificar la normativa urbanística i sectorial a la qual aquest projecte s'ha hagut d'adherir per tal de construir la planta respectant les restriccions imposades.
- Dissenyar sistemes de prevenció de riscos, basats en la normativa pertinent, per poder garantir una zona de treball segura, tant per els treballadors com per la població dels voltants.
- Valorar l'impacte mediambiental que tindrà la construcció d'aquesta planta i la producció d'urea en la zona en que durà a terme el projecte.
- Avaluar costos i ingressos durant el procés amb la finalitat de conèixer la viabilitat econòmica del projecte.
- Establir els passos a seguir per la posada en marxa i les aturades que tindrà la planta durant l'any.
- Elaborar plànols on quedi reflectida la ubicació de les diferents zones de la planta i diagrames que ajudin a entendre el funcionament de la planta.
- Estudiar possibles millores a implementar a la planta en un futur com poden ser futures ampliacions.

1.1.3. Localització de la planta

La planta ProUrea Manufacturing es troba ubicada al polígon industrial “Gasos Nobles” al terme municipal del Prat de Llobregat, situat a la comarca del Baix Llobregat, a la província de Barcelona (Catalunya, Espanya).

El Prat de Llobregat es troba a la costa mediterrània, a aproximadament uns 10 km al sud-est del centre de la ciutat de Barcelona. El municipi està delimitat al nord per Barcelona, a l'est pel mar Mediterrani, al sud per Viladecans i a l'oest per Sant Boi de Llobregat.

L'estratègica ubicació geogràfica del Prat de Llobregat, juntament amb el seu accés a importants infraestructures de transport, el converteix en un lloc atractiu per a l'establiment d'empreses i indústries.



Figura 1.1.1. Localització del Prat de Llobregat a Catalunya.

A la Figura 1.1.1 es pot veure en un mapa de Catalunya on es troba situat el Prat de Llobregat, el qual té una extensió de 31,4 km².^[1]

1.1.3.1. Plànol i paràmetres d'edificació

Per poder tenir una visió inicial del terreny sobre el qual es durà a terme el projecte industrial, a la Figura 1.1.2 es mostra un plànol de la superfície total de la parcel·la destinada a la construcció de la planta ProUrea Manufacturing.

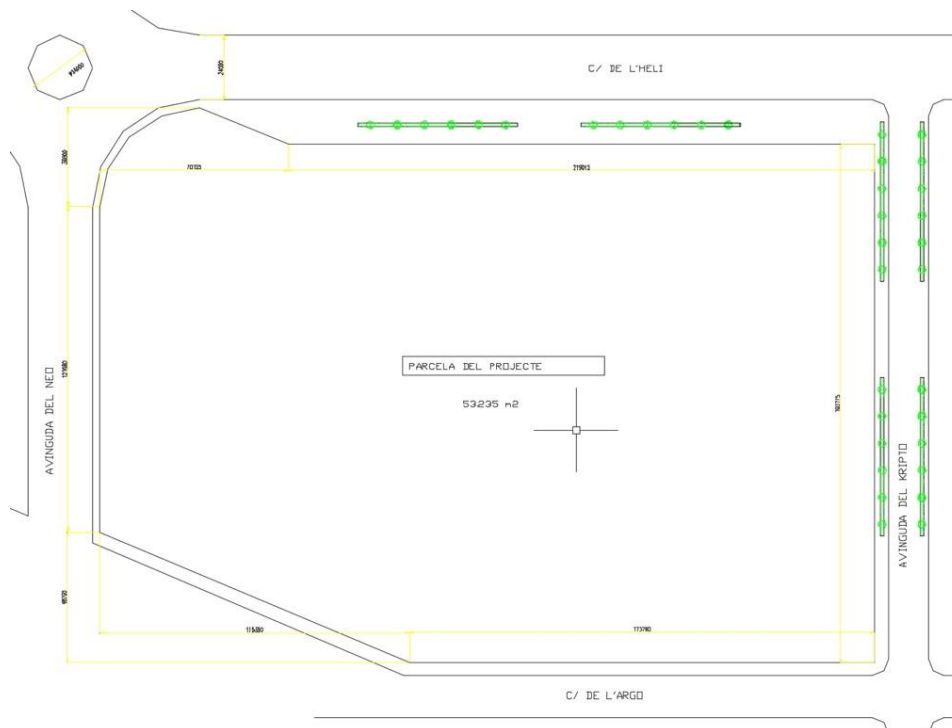


Figura 1.1.2. Plànol de la parcel·la.

Tal com es pot observar a la Figura 1.1.2 la parcel·la on es troba la planta química consta de 53.235 m² i està delimitada pels carrers de l'Heli i de l'Argó i per les avingudes del Neó i del Kriptó.

La topografia del terreny on es troba aquesta parcel·la és predominantment plana, fet que facilita la construcció de les instal·lacions industrials requerides, i el sòl és estable i adequat per a la construcció d'estructures pesades i la instal·lació d'equips industrials.

A l'hora de construir la planta, per tal de garantir el compliment dels estàndards de seguretat, eficiència i normatives corresponents, s'han de seguir i respectar una sèrie de paràmetres d'edificació que proporcionen les pautes essencials per a la planificació i construcció de la planta. A la Taula 1.1.1 es resumeixen els paràmetres clau per a l'edificació de la planta química en el polígon industrial "Gasos Nobles" per respectar les limitacions que imposa la normativa urbanística.

Taula 1.1.1. Paràmetres d'edificació en el polígon industrial "Gasos Nobles".

Edificabilitat	1,5 m ² sostre / m ² sòl
Ocupació màxima de parcel·la	75%
Ocupació mínima de parcel·la	20% de la superfície d'ocupació màxima
Reculades	5m a vials i veïns
Altura màxima	16m i 3 plantes excepte en producció justificant la necessitat pel procés
Altura mínima	4m 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

La parcel·la on es troba la planta industrial ProUrea Manufacturing és de 53.235 m², per tant, si l'ocupació màxima permesa pels paràmetres d'edificació en el polígon Gasos Nobles és del 75% del terreny, com a màxim es podrien edificar 39926,25 m². Per altra banda, el mínim d'ocupació de la parcel·la és el 20% de la superfície d'ocupació màxima, és a dir, 7985,25 m².

La superfície per construir la planta de producció d'urea és d'uns 20625 m², complint els requisits d'edificació. A més, sabent l'àrea construïda i seguint la normativa representada en la Taula 1.1.1, també es pot calcular el nombre de places d'aparcament que ha de tenir la planta. Així doncs, la planta ProUrea Manufacturing ha de tenir unes 140 places de pàrquing.

1.1.3.2. Serveis disponibles

Per poder dur a terme totes les activitats i assegurar un correcte funcionament del procés de producció de la planta es requereixen una sèrie de serveis mínims. A la Taula 1.1.2. es detallen els serveis disponibles a la planta ProUrea Manufacturing.

Taula 1.1.2. Serveis disponibles a la planta.

Energia elèctrica	Connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la, cal preveure una estació transformadora (espai delimitat al plànol)
Gas natural	Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm ²)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m (diàmetre del col·lector de 800 mm)
Aigua d'incendis	Pressió màxima de 4 kg/cm ² , cal dissenyar una estació de bombament i reserva d'aigua
Aigua de xarxa	Escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm ² amb un diàmetre de 200 mm
Terreny	Resistència del terreny de 2 kg/cm ² a 1,5 m de profunditat sobre graves

1.1.3.3. Comunicació i accessibilitat

Aquesta secció és crítica en la presa de decisions sobre la ubicació de la planta, ja que la comunicació amb els proveïdors de matèries primeres, així com el transport i la comercialització del producte acabat, són factors clau que influeixen en l'economia i el temps, aspectes vitals per a qualsevol indústria. A part de la importància de la comunicació, també cal destacar la transcendència de l'accés i la distribució, ja que són fonamentals per a facilitar els processos industrials. A més, emmagatzemar grans quantitats de substàncies químiques en aquest tipus d'indústria no és recomanable, sigui per raons d'espai o per evitar accidents greus. És per aquest motiu que és crucial que ProUrea Manufacturing disposi d'un espai considerable per a l'accés i maniobra dels camions de càrrega. Això facilita una operació eficient i ràpida, permetent que els camions entrin i surtin de la planta sense problemes. Un ampli espai de maniobra garanteix que els conductors puguin maniobrar amb comoditat i seguretat, la qual cosa redueix els temps d'espera i optimitza el procés de càrrega. A més, una distribució adequada de l'espai també facilita l'organització i emmagatzematge ordenat dels productes acabats, la qual cosa contribueix a una gestió logística eficient dins de la planta.

Per tant, la planta ha de comptar amb processos d'entrada i sortida diaris, els quals depenen de l'espai disponible i de l'accessibilitat dels camions que s'encarregaran de distribuir la urea granulada. És per això que l'accessibilitat i distribució de la planta són de gran importància.

Pel que fa a la comunicació de la planta, a continuació, s'exposen les principals infraestructures de transport properes a la planta, ubicada al polígon industrial "Gasos Nobles" del Prat de Llobregat.

1.1.3.3.1. Comunicació viària

La comunicació per carreteres és el principal medi de transport per la distribució del producte fabricat, ja que la urea serà enviada en bulk en camions de 30 tones, i la via d'accés pels treballadors de la planta.

El Prat de Llobregat està estratègicament ubicat a prop de vies d'accés, cosa que facilita el transport dels productes acabats. Entre aquestes vies s'inclouen l'autovia A-2 que uneix Barcelona amb Madrid passant per diverses ciutats importants, l'autopista C-31 que connecta el Prat de Llobregat amb Barcelona i altres localitats costaneres al llarg de la costa catalana, i l'autovia C-32 que connecta amb Barcelona pel nord i amb Tarragona i altres ciutats costaneres pel sud. A més, la C-32 connecta el Prat de Llobregat amb

l'autopista AP-7, la qual és una de les principals autopistes d'Espanya, ja que travessa la costa mediterrània des de la frontera amb França fins a Algesires.

El Prat del Llobregat també compta amb les carreteres B-22 i B-201, les quals comuniquen el municipi amb l'aeroport de Barcelona - El Prat, proporcionant una connexió vital pel transport de mercaderies. ^[2]

1.1.3.3.2. Comunicació aèria

La comunicació aèria té un cost més elevat i el seu ús per la distribució de la urea granulada quedarà restringit a ocasions concretes on sigui l'única opció possible o la urgència de l'enviament justifiqui el cost addicional. Però, tot i que en aquest cas la comunicació aèria no sigui el millor mètode pel transport de mercaderies, sí que ho pot ser en altres situacions com ara el desplaçament de personal tècnic o especialitzat o l'enviament de peces de recanvi o equips crítics per la planta.

El Prat de Llobregat compta amb una gran infraestructura aeroportuària, l'Aeroport Josep Tarradellas Barcelona - El Prat, que pot ser molt important en els casos esmentats. Aquest aeroport és el principal de Catalunya i un dels més transitats d'Espanya, amb un total de 166 destinacions arreu del món. A més, l'aeroport del Prat disposa d'instal·lacions per a la càrrega aèria, el que permet el transport de mercaderies per via aèria, i hi ha companyies de càrrega que treballen a l'aeroport i ofereixen serveis de transport per aquest tipus de càrrega. ^[3]

1.1.3.3.3. Comunicació marítima

El Prat de Llobregat també compta amb importants connexions marítimes a través del Port de Barcelona, que es troba a només uns 10 km de distància, i que pot ser de gran rellevància pel transport de tones d'urea granulada.

El Port de Barcelona és un dels ports més importants del Mediterrani i és un important centre logístic i de mercaderies d'Europa. És un punt clau a través del qual s'importen matèries primeres pels processos industrials i s'exporten els productes produïts. Aquest port compta amb més de 100 línies marítimes regulars de transport marítim que el connecten amb més de 250 ports del món. ^[4] A més, té terminals especialitzades en la manipulació de càrrega a granel que estan equipades per rebre, emmagatzemar i carregar grans volums de mercaderies.

Tal com s'ha comentat anteriorment, aquest no serà el mètode de distribució de ProUrea Manufacturing, però igual que amb el transport aeri, si es donés el cas, la urea podria ser exportada fàcilment utilitzant transport marítim.

1.1.3.3.4. Comunicació ferroviària

En el Prat de Llobregat també hi ha una xarxa de comunicacions ferroviàries. El municipi està connectat a la xarxa de Renfe Rodalies de manera que des de la seva estació es pot arribar al centre de Barcelona, a altres ciutats de l'àrea metropolitana i a l'Aeroport del Prat. A més, des del Prat de Llobregat es pot accedir a altres línies de tren de llarg recorregut que connecten Barcelona amb altres ciutats d'Espanya i d'Europa. ^[5]

Les línies de Renfe Rodalies estan principalment dissenyades pel transport de passatgers, però Renfe Mercaderies opera serveis de transport de mercaderies a tot Espanya. Així doncs, tot i que les opcions de transport ferroviari per l'enviament d'urea granulada des del Prat de Llobregat poden ser limitades comparades amb altres mètodes de transport, podrien haver-hi opcions disponibles si fos necessari. ^[6]

1.1.3.4. Climatologia

Finalment, un dels altres aspectes a tenir en compte és la climatologia de la zona on està ubicada la planta. Aquest apartat és important d'analitzar perquè les precipitacions, el vent o la temperatura, per exemple, són factors que poden resultar perjudicials si no es tenen en compte, tant en matèria de seguretat com de producció. En aquest apartat es recull informació sobre els següents paràmetres: precipitacions i temperatures, vent i sismologia, valorant en cada cas la importància de prendre mesures en cada cas.

1.1.3.4.1. Precipitacions i Temperatures

El municipi del Prat del Llobregat pertany a la comarca del Baix Llobregat, el qual presenta diferents trets climàtics. La ciutat on s'ubica la planta es troba en la zona costanera de la comarca, la qual presenta un clima Mediterrani Litoral Nord. És a dir, la precipitació al llarg de l'any és regular amb una tendència a ser escàs, on els valors màxims es registren a la tardor i els mínims a l'estiu. ^[7]

En general, la precipitació mitjana anual és de 626 mm. ^[8] Tot i que aquest factor s'haurà de tenir en compte, no representarà un principal problema, ja que són força escasses.

Pel que respecta a les temperatures, es caracteritzen per ser elevades als estius i moderades als hiverns, de manera que les glaçades són poc freqüents. A continuació es mostra un diagrama, proporcionat per Weather Spark ^[9], on es representen les temperatures simulades en aquesta comarca al llarg del 2023.

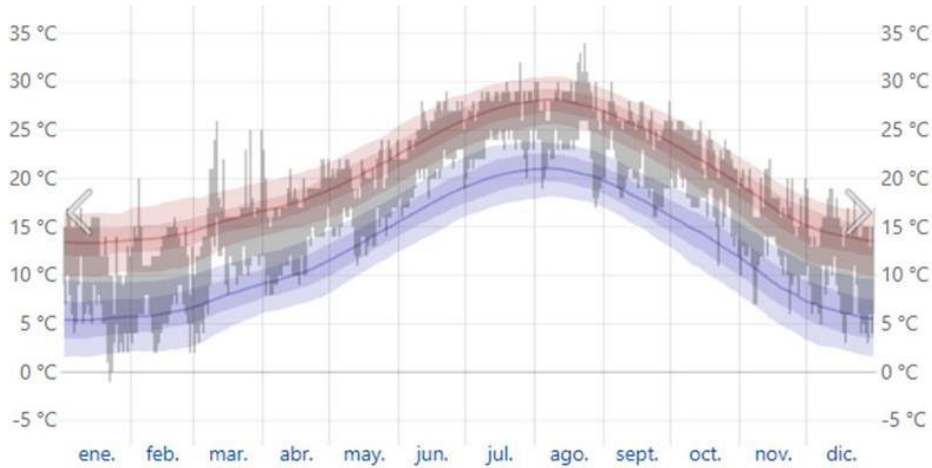


Figura 1.1.3. Dades històriques de temperatura al Prat de Llobregat durant 2023.

A la Figura 1.1.3 es representa el registre de temperatures amb les barres grises, de manera que es pot veure com les temperatures oscil·len entre els 0 °C i els 15 °C a l'hivern i els 20 °C i els 35 °C a l'estiu. Aquesta variació de temperatures s'ha de tenir en compte durant el procés per poder mantenir correctament les condicions dels equips al que treballaran al llarg de l'any. És a dir, que puguin treballar en un rang de temperatures entre els 0 °C i els 35 °C sense patir cap anomalia ni modificar les condicions i característiques del procés i matèries.

1.1.3.4.2. Vent

El vent és un altre factor important, ja que a una certa velocitat pot arribar a suposar un problema de seguretat. Tal com passa amb la temperatura i les precipitacions, la velocitat del vent pateix variacions al llarg de l'any. Al diagrama representat a la Figura 1.1.4 es pot analitzar el comportament que ha tingut al llarg de l'any 2023.

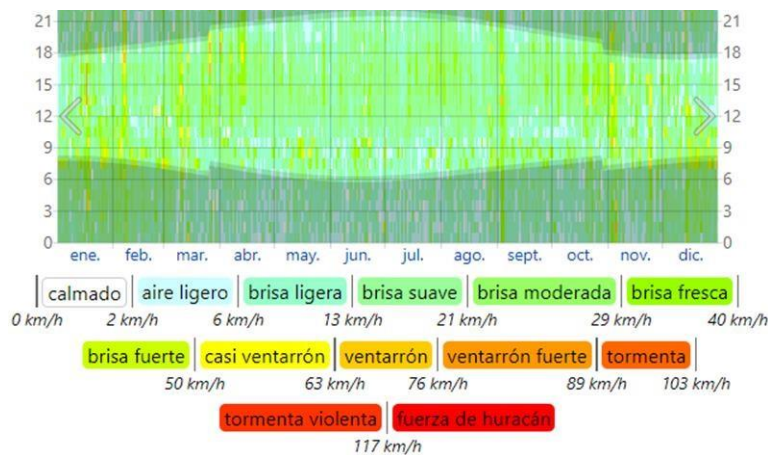


Figura 1.1.4. Velocitat del vent (km/h) durant el 2023 en el Prat de Llobregat.

A la Figura 1.1.4 es representen les velocitats registrades en cada mes de l'any i es classifiquen amb colors segons l'escala de conformitat de Beaufort. Es veu doncs com la majoria dels mesos es troben entre aire lleuger i brisa suau. Per tant, en aquest cas, el vent no suposa un perill important per la construcció ni el funcionament de la planta.

1.1.3.4.3. Sismologia

Finalment, s'ha tingut en compte l'activitat sísmica de la zona, ja que aquest tipus de construcció es considera d'importància especial, segons la *Normativa de Construcció Sismorresistent* ^[10], a causa de la manipulació de substàncies perilloses. Aquest fet implica que s'ha de respectar els seus criteris i restriccions per aquests casos.

L'activitat sísmica que es dona en aquesta zona es considera entre baixa i moderada. Per poder comprendre millor el que implica aquesta classificació, es mostra un mapa de la comunitat autònoma de Catalunya, a la qual pertany el Prat de Llobregat, on es representa l'activitat sísmica registrada per l'Institut Geogràfic Nacional en diferents èpoques històriques. ^[11]

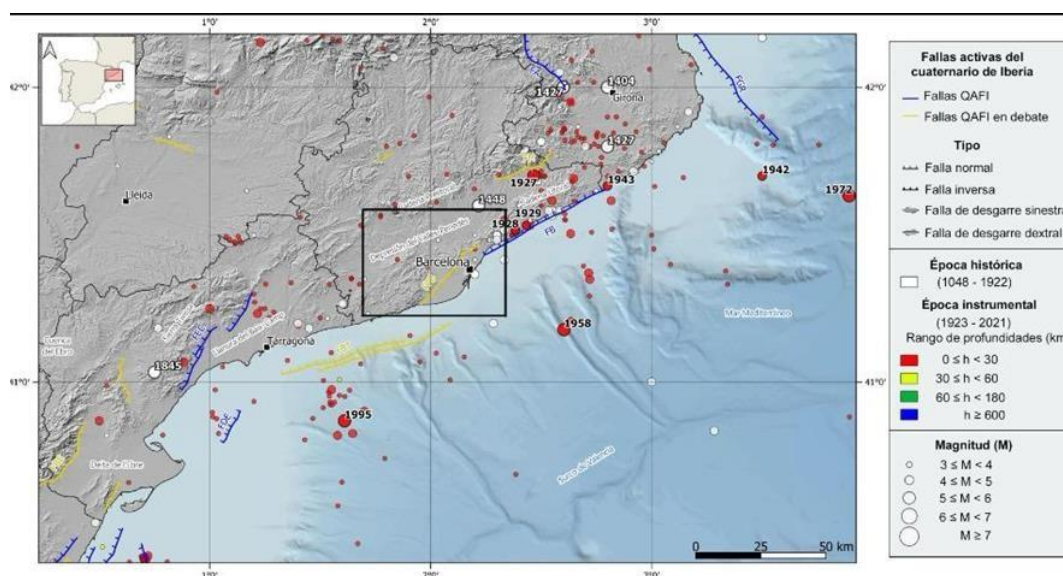


Figura 1.1.5. Registre de l'activitat sísmica a Catalunya en diferents èpoques històriques.

A la Figura 1.1.5 apareix marcada per un rectangle la zona on es troba ubicat el municipi del Prat de Llobregat. S'observa doncs que al llarg dels anys, ha patit pocs terratrèmols en comparació amb la zona més al nord de Catalunya. No obstant això, es procedeix a analitzar més detalladament aquesta activitat sísmica i el que implica segons la normativa mencionada a l'inici.

Segons l'Institut Geogràfic Nacional, en època instrumental no hi ha registre de terratrèmols que siguin majors de 5, sent excepció el de 1927 en Sant Celoni (Barcelona).

A més a més, dels que més destaquen d'aquesta època, cap es va donar en les proximitats del Prat de Llobregat. Aquest mateix organisme va realitzar un estudi per catalogar en diferents zones sísmiques segons la perillositat. D'aquesta manera, es va representar el següent mapa.

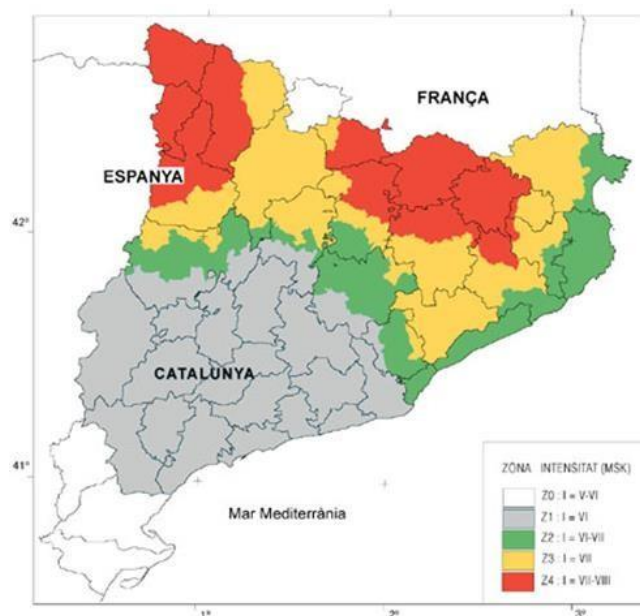


Figura 1.1.6. Mapa de Zones Sísmiques de Catalunya.

A la Figura 1.1.6 s'observa que la comarca del Baix Llobregat s'ubica en una zona de baixa perillositat. Ara bé, els criteris de la *Normativa de Construcció Sismorresistent* estableixen que les construccions d'importància especial queden exclosos sempre que l'acceleració sísmica bàsica, a_b , sigui inferior a 0,04. Aquest paràmetre és un valor característic de l'acceleració horitzontal de la superfície del terreny, tenint en compte un coeficient de contribució K, el qual fa referència a la influència que tenen els diferents tipus de terratrèmols esperats en la perillositat sísmica de cada punt.

Segons les dades recollides, els municipis que es troben a la comarca del Baix Llobregat, entre ells la ciutat en qüestió, es troben en el límit de seguretat establert, és a dir, en una a_b equivalent a 0,04. Per tant, no caldria aplicar aquesta normativa.

1.1.4. Abreviacions

En aquest apartat s'especifiquen les abreviacions que es fan servir en aquest capítol per facilitar la lectura dels diagrames i els plànols del procés a desenvolupar. A la Taula 1.1.3 es presenta la nomenclatura utilitzada per referir-se als diferents equips de la planta industrial.

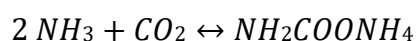
Taula 1.1.3. Abreviacions dels equips de la planta.

Àrea	Nomenclatura
Tanc d'emmagatzematge	TE
Reactor	R
Stripper	ST
Pool Condenser	PC
Decomposer	DC
Absorber	A
Evaporador	E
Condenser	CD
Tanc	T
Desorber	DS
Hidrolitzador	HY
Granulador	GR
Assecador	AS
Refredador	RE
Tamisadora	TA
Crusher	CR

1.2. Procés de producció d'urea

La urea ($\text{NH}_2 - \text{CO}_2 - \text{NH}_2$) és un compost amb elevat contingut de nitrogen (46%) i que és molt estable en condicions ambientals normals. És per aquest motiu que la major part de la urea que es produeix s'utilitza com a fertilitzant. S'utilitza àmpliament perquè el seu transport, emmagatzematge i manipulació són més segurs que si s'utilitzen amoníac anhidre o les seves dissolucions aquoses. ^[12] A més, entre els fertilitzants sòlids, la urea granular 46% és la font nitrogenada de major concentració de nitrogen. ^[13]

La producció d'urea s'acostuma a dur a terme en plantes industrials de gran capacitat i s'obté per la reacció entre amoníac i diòxid de carboni a alta temperatura i a alta pressió. El procés de síntesi d'urea consta de dos passos seqüencials. En el primer pas, l'amoníac i el diòxid de carboni reaccionen formant carbamat d'amoni:



Aquesta reacció és molt exotèrmica i ràpida en ambdues direccions de manera que es podria considerar en equilibri en les condicions que es troben en el procés industrial. En el següent pas, el carbamat d'amoni es deshidrata per formar urea:



Aquesta reacció és endotèrmica i lenta en comparació amb la reacció anterior. Per tant, necessita un llarg temps de residència per arribar a l'equilibri. [14]

1.2.1. Mètodes d'obtenció de la urea

Industrialment, la urea es pot obtenir utilitzant diferents mètodes de producció. La majoria de les noves plantes de producció d'urea contenen amb la llicència de Snamprogetti, Stamicarbon o Toyo. El primer procés, respectivament, utilitza stripping tèrmic, mentre que els altres dos processos utilitzen stripping amb CO₂. [15]

1.2.1.1. Procés Snamprogetti

En el procés de Snamprogetti es proporciona calor al stripper per separar el NH₃ i el CO₂ que no han reaccionat, però degut a l'alt contingut d'amoniac és necessari tenir dues seccions de recirculació.

El llaç de recirculació de la secció de síntesi porta el gas provinent del stripper a dos condensadors de carbamat en sèrie i a un separador d'alta pressió. Seguidament, el flux es conduit fins al reactor, el qual opera a 150 bar amb una relació molar de 3,5/1 de NH₃/CO₂.

L'off-gas d'entrada als condensadors de carbamat també contenen el carbamat recuperat en les seccions de baixa i mitja pressió. [16]

A la Figura 1.2.1 s'hi representa el diagrama de flux d'una planta industrial de producció d'urea que utilitza el procés Snamprogetti.

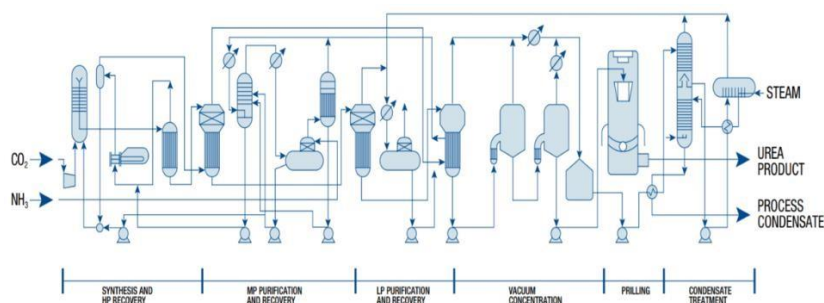


Figura 1.2.1. Diagrama de flux del procés Snamprogetti.

1.2.1.2. Procés Stamicarbon

Stamicarbon va introduir el primer procés de stripping. Una de les majors millores va ser la reducció del vapor d'aigua necessari per tona d'urea respecte al disseny inicial de reciclatge total.

La secció de síntesi consisteix en un reactor, un stripper, un condensador de carbamat d'alta pressió i un scrubber d'alta pressió. Per obtenir la màxima conversió en l'interior del reactor es necessita una pressió de 140 bar i una relació molar de 2,95/1 de NH_3/CO_2 . El corrent líquid provinent del reactor entra al stripper, que és un intercanviador de calor de carcassa i tubs. En contracorrent s'alimenta el CO_2 que arrossega per caps l'excés de NH_3 , reduint la pressió parcial i produint així la descomposició parcial del carbamat. La solució d'urea obtinguda per cues va cap a la secció de baixa pressió (4 bar), mentre que el gas d'escapament s'envia al condensador de carbamat d'alta pressió.

En la part superior del reactor, els gasos no condensats s'alimenten al scrubber d'alta pressió, el qual consisteix en un intercanviador de calor de carcassa i tubs en la part inferior i una columna d'empacament en la part superior. La major part del NH_3 i del CO_2 es condensen en la part inferior. En la part superior, els gasos que abandonen la part inferior es posen en contacte amb el carbamat provinent de la secció de baixa pressió. L'off-gas del scrubber es porta a ventilació mentre que la solució de carbamat es porta al condensador de carbamat.

En el condensador de carbamat, es troben els corrents mencionats anteriorment juntament amb el corrent d'aportació de NH_3 . La major part d'aquest corrent condensa i s'utilitza per produir vapor a baixa pressió. A continuació, el corrent bifàsica s'introdueix en el reactor a través de la part inferior.

El reactor consta d'una columna de bombolleig a la que s'alimenten des de baix tan líquid com gas. El reactor està format per una sèrie de plats foradats per proporcionar un bon contacte entre les bombolles i la fase líquida. A la part superior es separen les fases líquida i gasosa.

La solució d'urea provinent del stripper entra a una columna de rectificació, on els gasos formats es porten al condensador de carbamat i a una bomba que els envia al scrubber. Després, la solució d'urea s'evapora i es granula. ^{[7], [17]}

A la Figura 1.2.2 s'hi representa el diagrama de flux d'una planta industrial de producció d'urea que utilitza el procés Stamicarbon.

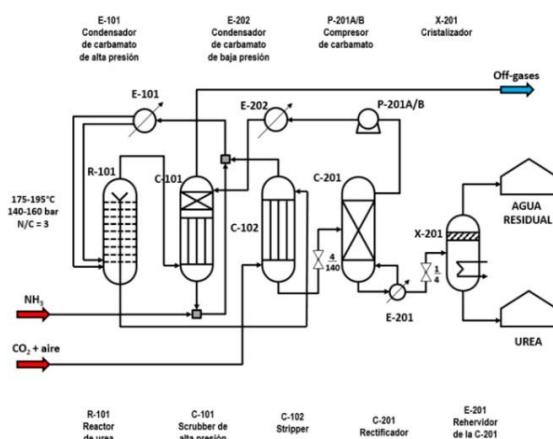


Figura 1.2.2. Diagrama de flux del procés Stamicarbon.

1.2.1.3. Procés Toyo

La secció de síntesi del mètode Toyo consta d'un reactor, un stripper i dos condensadors de carbamat a una pressió de 175 bar. El reactor treballa a 190°C amb una relació molar de 4/1 de NH_3/CO_2 . L'amoniac líquid s'alimenta directament al reactor en el reactor amb una bomba centrífuga. El diòxid de carboni gasós es subministra des del compressor en el fons del stripper.

El corrent provinent del reactor, que consisteix en una barreja d'urea, carbamat d'amoniac no convertit, aigua i amoniac, s'alimenta directament per la part superior del stripper. Aquest té dues funcions, la part superior que consta d'un conjunt de plats que separen l'excés de NH_3 . Seguidament, el corrent passa per la part inferior, la qual consisteix d'un intercanviador de calor on el carbamat es descompon per efecte del CO_2 de stripping i la calor aportada. La mescla de gasos obtinguda a la part superior s'alimenta als condensadors de carbamat on és condensada i absorbida per el corrent provinent de l'absorbidor. Un dels condensadors s'utilitza per produir vapor de baixa pressió (4,5-5 bar), mentre que l'altre s'utilitza per escalfar el corrent d'urea que prové del stripper. El corrent bifàsic dels condensadors s'envia al reactor.

El corrent que abandona el stripper es purifica en les seccions de mitja i baixa pressió. L'amoniac i el diòxid de carboni separats en els descomponedors són absorbits retornats a la secció de síntesi.

El corrent d'urea d'urea s'alimenta a un concentrador al buit que opera a 17,3 kPa i produeix urea amb un 88,7% en pes. Després d'això, passa per una etapa d'evaporació per produir el granulat. ^[18]

A la Figura 1.2.3 s'hi representa el diagrama de flux d'una planta industrial de producció d'urea que utilitza el procés Toyo.

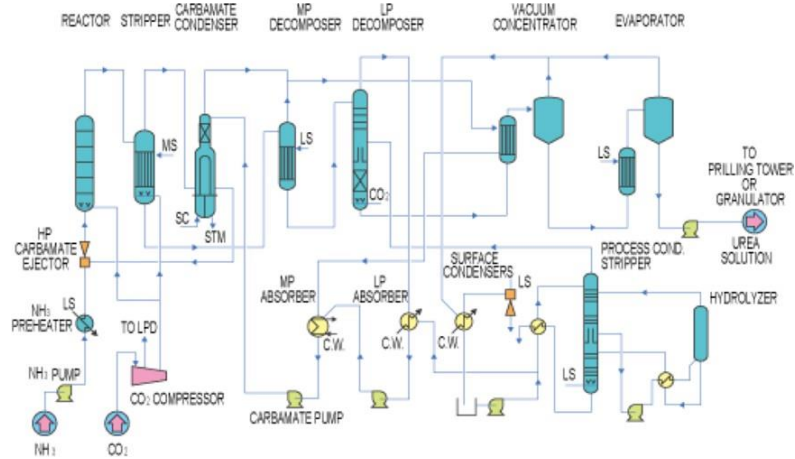


Figura 1.2.3. Diagrama de flux del procés Toyo.

1.3. Diagrames i explicació detallada del procés

En aquest apartat es presenten el diagrama de blocs i el diagrama de procés de la producció d'urea a la planta industrial de ProUrea Manufacturing, així com una explicació detallada del procés.

1.3.1. Diagrama de blocs

En el diagrama de blocs representat a la figura 1.3.1 s'esquematitza de forma general les diferents etapes del procés de producció d'urea.

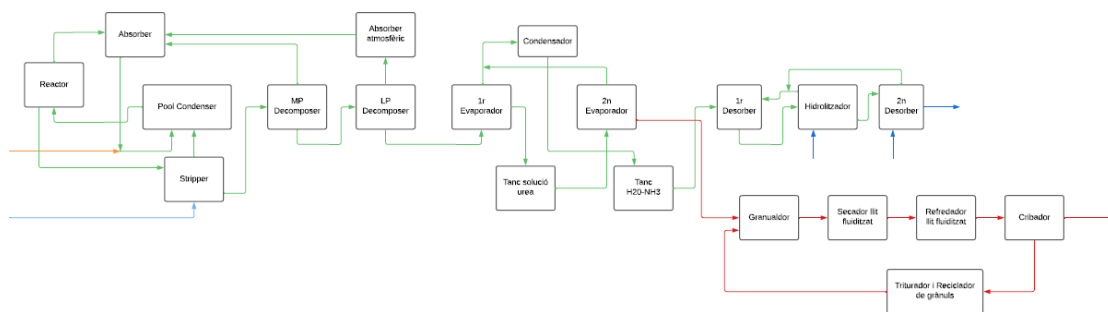


Figura 1.3.1. Diagrama de blocs del procés de producció d'urea a ProUrea Manufacturing.

1.3.2. Diagrama de procés

En aquesta secció es presenta a la Figura 1.3.2 el diagrama de procés de la planta ProUrea Manufacturing. Aquest diagrama de flux no és tan generalitzat com el diagrama de blocs i s'hi mostren **tots els equips, corrents, bombes i vàlvules que participen en el procés de producció.**

Per poder veure el procés més detallat, la Figura 1.3.2 es divideix en tres parts per poder veure els equips i els corrents de forma més clara i ampliada (Figures 1.3.2a, 1.3.2b i 1.3.2c).

Tot i això, tots els diagrames i balanços es poden trobar al capítol 10 “Diagrames i plànols”, de manera més detallada i precisa.

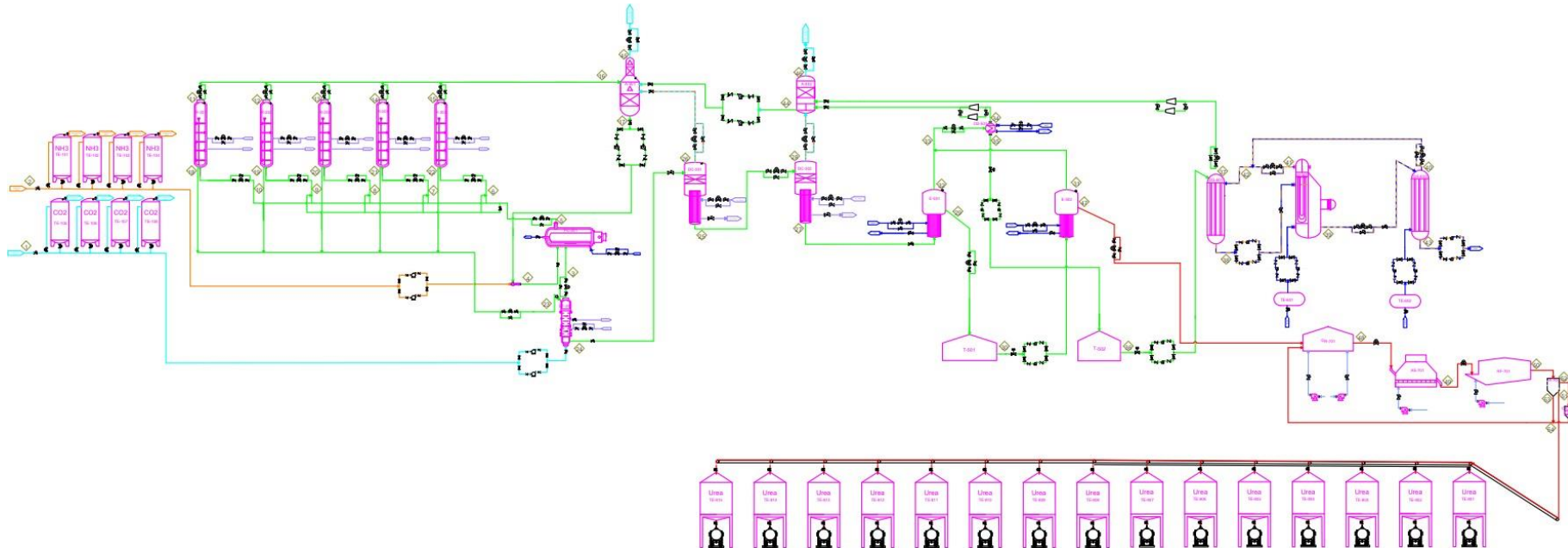


Figura 1.3.2. Diagrama de procés de la planta ProUrea Manufacturing.

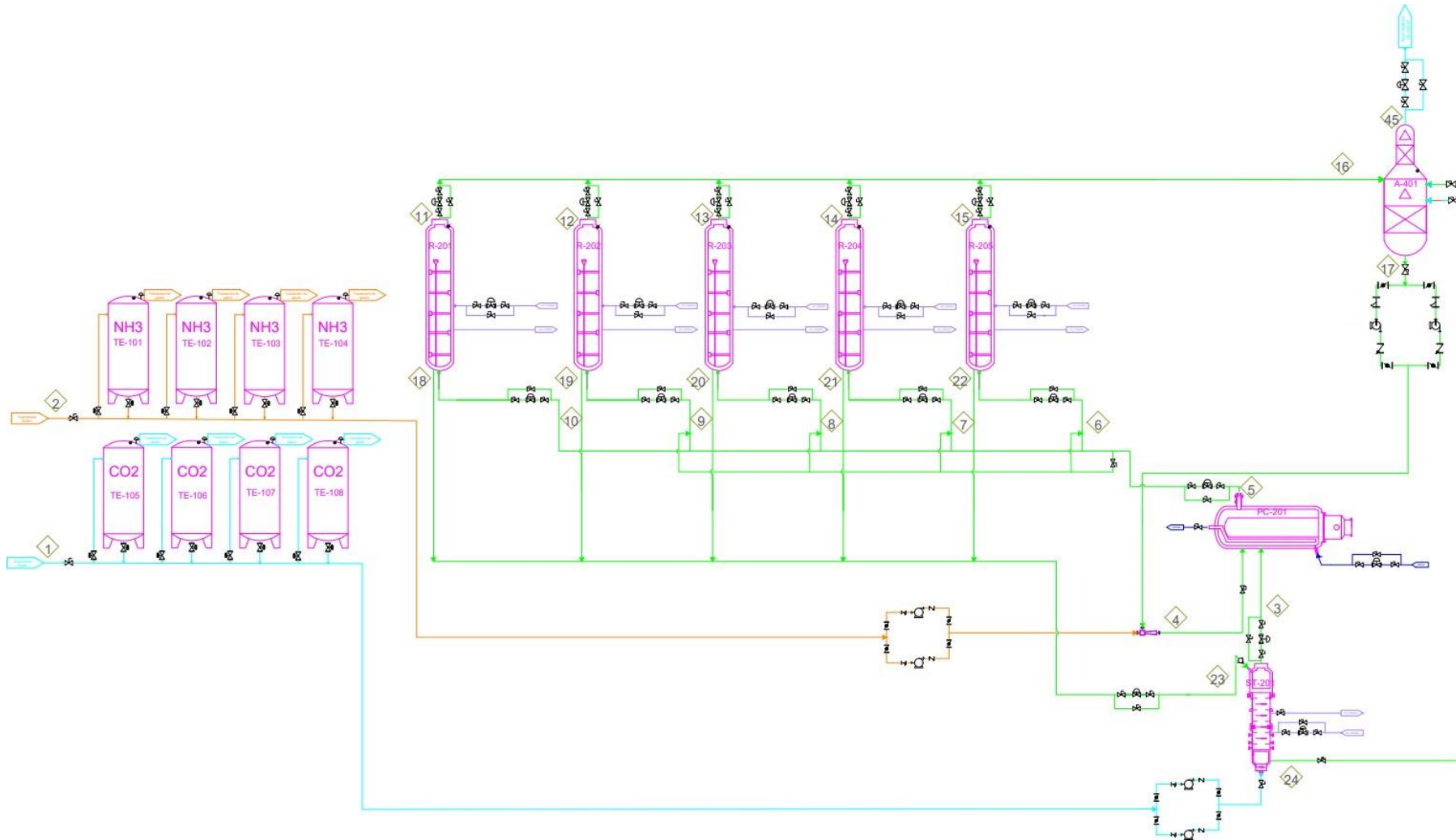


Figura 1.3.2a. Diagrama de procés de la planta ProUrea Manufacturing (part 1).

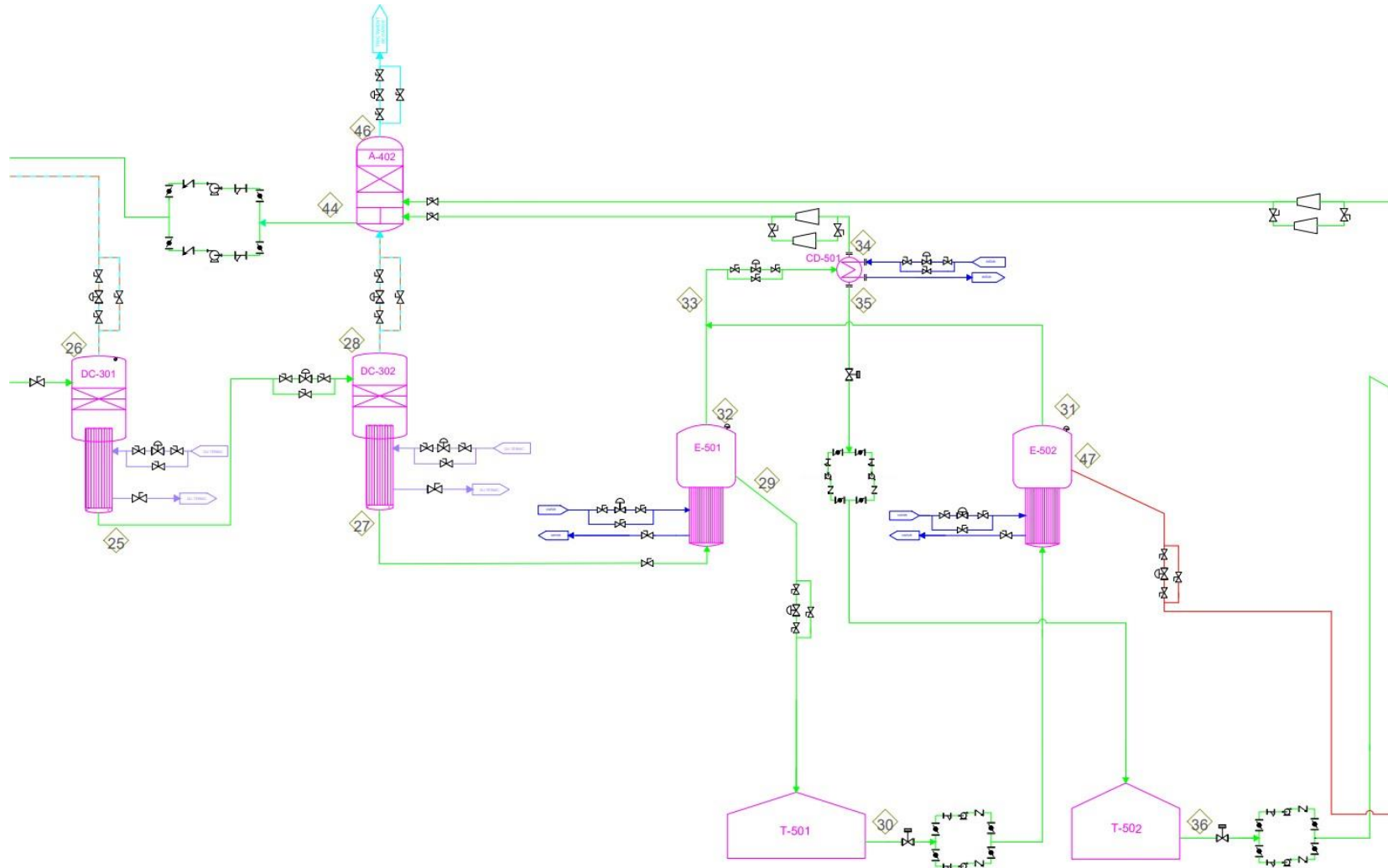


Figura 1.3.2b. Diagrama de procés de la planta ProUrea Manufacturing (part 2).

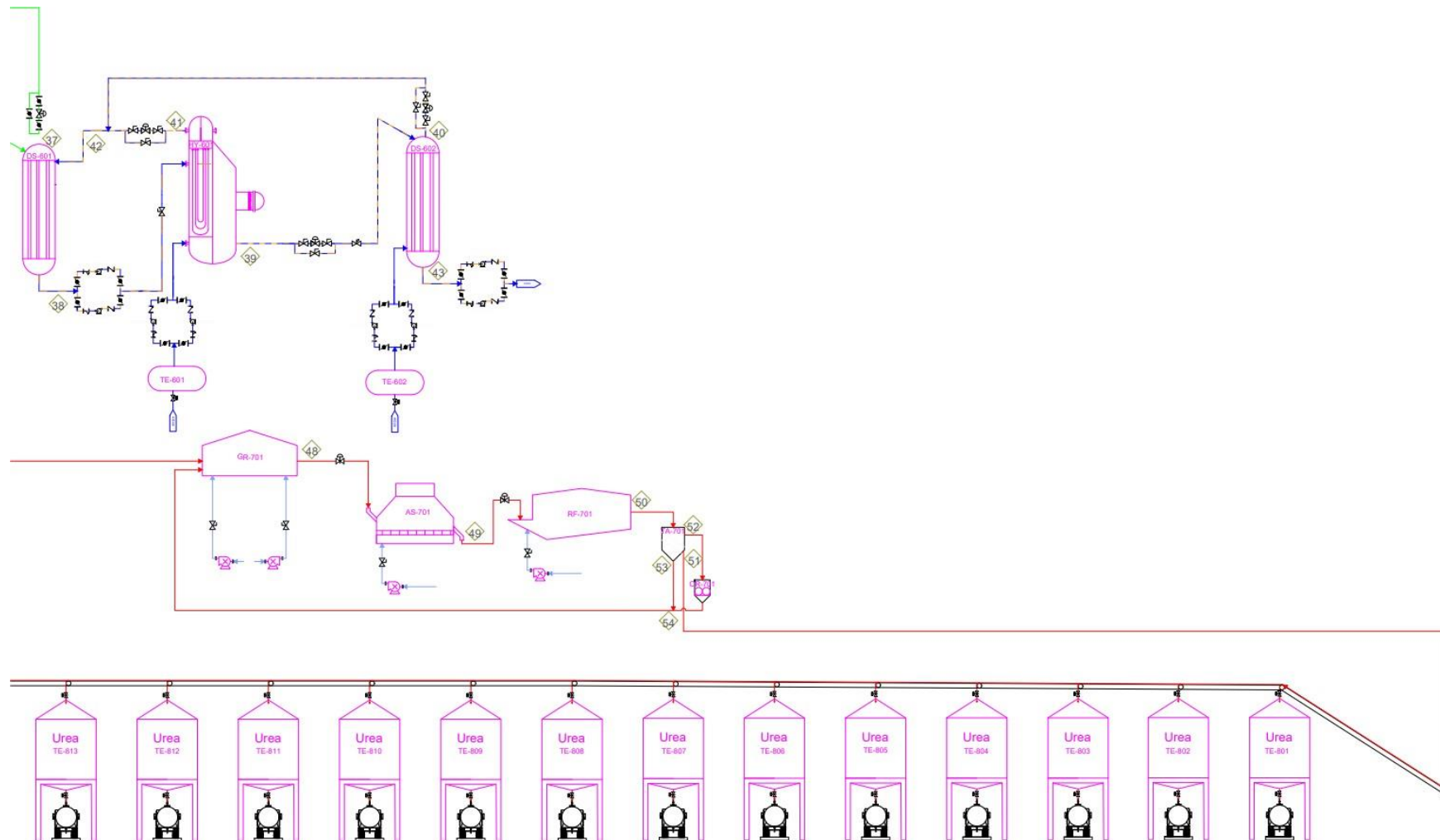


Figura 1.3.2c. Diagrama de procés de la planta ProUrea Manufacturing (part 3).

1.3.3. Balanç de matèria

Taula 1.3.1. Balanços de matèria.

	BALANÇ DE MATÈRIA (t/h)										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DIÒXID DE CARBONI	37	-	41,91	-	0,42	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	8,38E-04
AMONÍAC	-	28,63	8,04	29,10	5,08	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	4,76E-02
AIGUA	-	1,43	4,68	13,63	25,32	5,06	5,06	5,06	5,06	5,06	-
CARBAMAT	-	-	-	12,00	55,17	11,03	11,03	11,03	11,03	11,03	-
UREA	-	-	-	-	23,36	4,67	4,67	4,67	4,67	4,67	-
BIURET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	BALANÇ DE MATÈRIA (t/h)										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
DIÒXID DE CARBONI	8,38E-04	8,38E-04	8,38E-04	8,38E-04	4,19E-03	-	-	-	-	-	-
AMONÍAC	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	4,76E-02	0,24	0,48	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
AIGUA	-	-	-	-	-	12,19	6,69	6,69	6,69	6,69	6,69
CARBAMAT	-	-	-	-	-	12,00	4,14	4,14	4,14	4,14	4,14
UREA	-	-	-	-	-	-	10,09	10,09	10,09	10,09	10,09
BIURET	-	-	-	-	-	-	2,84E-02	2,84E-02	2,84E-02	2,84E-02	2,84E-02

	BALANÇ DE MATÈRIA (t/h)										
	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
DIÒXID DE CARBONI	-	-	-	5,62	-	0,72	-	-	0,15	0,28	0,43
AMONÍAC	4,76	0,51	0,85	4,00	0,14	1,27	6,03E-02	6,03E-02	0,14	0,29	0,43
AIGUA	33,44	28,76	23,01	5,75	18,64	4,37	8,39	8,39	8,26	10,25	18,51
CARBAMAT	20,69	12,00	2,04	-	0,75	-	0,26	0,26	-	-	-
UREA	50,45	50,45	50,45	-	50,45	-	50,45	50,45	-	-	-
BIURET	0,14	0,14	0,14	-	0,14	-	0,14	0,14	-	-	-

	BALANÇ DE MATÈRIA (t/h)										
	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
DIÒXID DE CARBONI	0,43	-	-	0,43	-	-	-	-	-	-	-
AMONÍAC	-	0,43	0,43	0,43	4,55E-02	4,11E-02	4,11E-02	4,57E-03	4,56E-02	2,05E-07	0,81
AIGUA	-	18,51	18,51	2,07	20,93	21,49	18,44	0,44	4,87	18,44	6,44
CARBAMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,04
UREA	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BIURET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	BALANÇ DE MATÈRIA EN t/h									
	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
DIÒXID DE CARBONI	3,52E-03	4,23E-04	-	-	-	-	-	-	-	-
AMONÍAC	-	-	3,59E-02	3,77E-02	3,77E-02	3,77E-02	3,51E-02	7,55E-04	1,89E-03	2,64E-03
AIGUA	-	-	0,93	1,06	0,14	0,14	0,13	4,23E-02	9,00E-02	0,13
CARBAMAT	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
UREA	-	-	50,45	54,25	54,25	54,25	50,45	1,09	2,71	3,80
BIURET	-	-	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	3,05E-03	7,63E-03	1,07E-02

1.3.4. Explicació del procés

A la planta industrial ProUrea Manufacturing, s'utilitza el mètode Stamicarbon (explicat anteriorment) per a produir les 1200 tones/dia d'urea. Tot i això, en la simulació s'han fet alguns canvis en el procés per poder aprofitar al màxim tots els recursos i reduir les emissions al medi.

Pel que fa a les matèries primeres, és a dir, l'amoníac i el diòxid de carboni, arriben directament a la planta per canonada. No obstant, la planta conta amb tancs d'emmagatzematge per les matèries primeres per no haver d'aturar la producció si es produeix alguna avaria o inconvenient en aquestes canonades. Els tancs tenen capacitat per alimentar la producció d'urea durant unes vuit hores sense necessitats externes, però si per qualsevol motiu es supera aquest temps, la planta s'hauria d'aturar.

Primerament, el diòxid de carboni comprimit a alta pressió s'introdueix al stripper pel seu extrem inferior. El diòxid de carboni ascendeix en contracorrent amb la dissolució d'urea, carbamat d'amoni i excés d'amoníac. L'amoníac, en posar-se en contacte amb un gas que té menor pressió parcial s'evapora, provocant així un descens en la concentració del líquid i conseqüentment la descomposició del carbamat no reaccionat. Aquest fet és degut a que la reacció de formació de carbamat amònic es desplaça cap a l'esquerra per la disminució d'amoníac dissolt.

La fase gasosa del stripper entra al pool condensader, juntament amb l'amoníac i la fase líquida del absorbidor. El condensador de carbamat és un intercanviador de calor on la calor generada en la primera reacció en els tubs s'utilitza per produir vapor de baixa pressió a la carcassa. No tots els reactius es converteixen aquí, la primera reacció també té lloc al reactor, produint suficient calor per a la segona reacció. En el reactor d'urea, s'utilitzen plats per augmentar el contacte entre les fases líquida i gasosa. El producte líquid del reactor desborda cap al stripper, mentre que la fase gasosa, que conté amoníac, diòxid de carboni i gasos inerts, se'n va cap a l'absorber. ^[19]

El producte que surt del stripper és enviat al decomposer de mitja pressió, el qual s'encarrega de descompondre part del carbamat d'amoni en els seus components originals: diòxid de carboni i amoníac. Aquests gasos són separats i reciclats al procés de síntesi d'urea. El producte continua el circuit del procés i és enviat a un segon decomposer de baixa pressió, on es descompon a NH_3 i CO_2 certa quantitat del carbamat que no s'ha descompost en el primer decomposer. Així doncs, s'aconsegueix reduir la quantitat d'aquest intermedi que no interessa i es recupera la major part dels reactius.

A més, en el procés Stamicarbon, la descomposició del carbamat d'amoni es realitza en condicions d'alta temperatura i pressió, però aquests dos equips ajuden a reduir la pressió en el sistema, facilitant així la separació i reciclatge dels gasos.

A continuació, el corrent passa per dos evaporadors, els quals s'encarreguen d'eliminar l'excés d'aigua, elevant d'aquesta manera la concentració d'urea. Durant el procés d'evaporació, també es separen impureses i subproductes no desitjats que són solubles en aigua però més volàtils. L'aigua evaporada es condensa i es tracta mitjançant dos desorbents i un hidrolitzador. En el primer desorber s'eliminen traces d'amoniac i diòxid de carboni. Seguidament, l'hidrolitzador tracta aquesta aigua reduint encara més la seva concentració d'amoniac. Finalment, un segon desorber purifica l'aigua, eliminant gairebé qualsevol gas residual abans que l'aigua surti del procés.

Finalment, la urea concentrada que surt dels evaporadors comença l'última fase del procés, la granulació. En el primer pas d'aquesta fase, la urea fosa entra a un granulador, on es ruixa sobre un llit de partícules d'urea reciclada. A mesura que la urea líquida entra en contacte amb les partícules, es forma una capa sobre elles, fent que les partícules creixin en mida mitjançant un procés d'aglomeració. Els grànuls calents es traslladen després a un assecador de llit fluiditzat, on l'aire calent elimina la humitat i en redueix la temperatura. Posteriorment, aquests grànuls són refredats en un refredador de llit fluiditzat usant aire a temperatura ambient o refrigerat, la qual cosa estableix la seva forma i millora la seva resistència. Els grànuls són a continuació garbellats per separar aquelles de talla adequades de les partícules massa grans, massa petites o pols. Els grànuls massa grans són triturats per ajustar-ne la mida, mentre que les partícules petites es reciclen de tornada al granulador, optimitzant l'ús de materials i assegurant una producció contínua i eficient.

Els grànuls que compleixen amb les especificacions adequades són transportats a través de cintes transportadores cap a silos d'urea. Aquests silos estan dissenyats per emmagatzemar de manera segura el producte final. L'ús de cintes transportadores facilita el maneig eficient i continu del material, minimitzant la manipulació física i mantenint la qualitat dels grànuls d'urea. Als silos, la urea pot ser emmagatzemada en un ambient controlat fins que sigui necessari, assegurant que es mantingui lliure de contaminants i humitat, preservant així la seva qualitat i eficàcia com a fertilitzant.

1.4. Característiques dels compostos implicats en el procés

L'estudi previ de les característiques dels compostos implicats en el procés productiu és fonamental no només per saber com manipular-los correctament per garantir la seguretat sinó que també per millorar l'eficiència del procés ajustant les condicions d'operació garantint que el producte final compleixi els requisits de qualitat.

1.4.1. Matèries primeres

Les matèries primeres emprades per la producció de la urea són l'amoníac i el diòxid de carboni. A continuació es fa una breu descripció de cada compost, s'esmenten les propietats fisicoquímiques, la síntesi d'aquests i les seves principals aplicacions industrials.

1.4.1.1. Amoníac

L'amoníac (NH_3) és un compost químic gasos format per un àtom de nitrogen i tres àtoms d'hidrogen units mitjançant enllaços covalents. En condicions normals de temperatura i pressió, es presenta com un gas alcalí incolor d'olor característic i penetrant. Es sintetitza per la combinació directa de l'hidrogen i el nitrogen a elevada temperatura i pressió.

És un compost altament soluble en aigua, que forma una solució aquosa on adquireix un caràcter basic per la formació d'hidròxid d'amoní (NH_4OH), que és el que s'utilitza comunament.

Tot i ser un compost àmpliament utilitzat en la indústria, presenta riscos per la salut i requereix precaucions específiques durant la seva manipulació. Pel que fa a la salut, és tòxic per inhalació i els vapors poden produir irritació ocular i a les vies respiratòries. A més, l'amoníac líquid pot provocar cremades i afeccions oculars severes. D'altra banda, és convenient treballar en espais correctament ventilats per reduir la concentració de vapors d'amoníac i utilitzar equips de protecció personal.

En la Taula 1.4.1 es presenten les propietats fisicoquímiques de l'amoníac.

Taula 1.4.1. Propietats fisicoquímiques de l'amoníac.

Pes molecular (g/mol)	17,031
Temperatura de solidificació (°C)	-77,7
Temperatura d'ebullició (°C)	-33,4
Calor latent de vaporització a 0°C (kcal/kg)	302
Pressió de vapor a 0°C (atm)	4,1
Temperatura crítica (°C)	132,4
Densitat a 0°C i 1atm (kg/m^3)	0,7714
Solubilitat en aigua ($L_{\text{gas}}/L_{\text{aigua}}$)	700

L'amoníac té un gran nombre d'aplicacions industrials. La seva aplicació principal és la fabricació de fertilitzants nitrogenats com la urea i el nitrat d'amoní. Altres aplicacions principals també són de refrigeració i congelació, pel tractament d'aigües i pel tractament de metalls. ^[20]

1.4.1.2. Diòxid de carboni

El diòxid de carboni (CO₂) és un compost químic format per un àtom de carboni enllaçat a dos àtoms d'hidrogen. En condicions normals de pressió i temperatura, és un gas incolor, inodor, insípid, lleugerament àcid i no inflamable. Es pot presentar en estat líquid ja que és soluble en aigua o en estat sòlid a temperatures inferiors a -79°C.

Aquest compost té un paper fonamental en processos biològics i ambientals, tot i això, un augment significatiu dels nivells de CO₂ a l'atmosfera fan que actui com un gas d'efecte hivernacle i contribueix al canvi climàtic.

El CO₂ en estat líquid s'evapora ràpidament saturant l'aire i provocant un greu risc d'asfíxia. A més, en contacte amb la pell i els ulls pot provocar cremades per congelació. La inhalació d'elevades concentracions i la exposició prolongada i repetitiva pot ocasionar alteracions en el metabolisme.

En la Taula 1.4.2. es presenten les propietats fisicoquímiques del diòxid de carboni.

Taula 1.4.2. Propietats fisicoquímiques del diòxid de carboni.

Pes molecular (g/mol)	44,01
Temperatura de solidificació (°C)	-57
Temperatura d'ebullició (°C)	-78,3
Pressió de vapor a 21,1°C (atm)	57,02
Temperatura crítica (°C)	-146,9
Densitat a 21,1°C i 1atm (kg/m³)	1,833
Solubilitat en aigua a 20°C (mL_{gas}/100 mL_{aigua})	88

El diòxid de carboni té diverses aplicacions en diferents sectors industrials, algunes de les principals són en la indústria química per la síntesi de productes químics, regulació de la temperatura de les reaccions, neutralitza els àlcalis..., en la soldadura i processos metal·lúrgics com a gas de protecció en els processos de soldadura i per millorar la qualitat del metall i reduir òxids, com a agent extintor d'incendis en estat líquid o com gas pressuritzat i com a font de refrigeració i conservació en la indústria alimentària. ^[21]

1.4.2. Subproductes

A part de la formació d'aigua, també s'obté carbamat d'amoni i biuret com a subproductes de la reacció de producció d'urea.

1.4.2.1. Carbamat d'amoni

El carbamat d'amoni és una sal que conté ions d'amoni (NH_4^+) i carbamat (HCO_2^-) i la seva fórmula molecular és $\text{NH}_2\text{COONH}_4$.

Generalment, el carbamat d'amoni es prova en forma de pols blanc cristal·lí o en solució aquosa. A més, és soluble en aigua i en condicions normals de pressió i temperatura pot alliberar amoníac. Es pot descomposar tèrmicament alliberant gasos com l'amoníac i el diòxid de carboni, és per això que s'ha de operar amb precaució ja que hi ha risc d'irritació cutània i lesions oculars.

En la Taula 1.4.3 es presenten les propietats fisicoquímiques del carbamat d'amoni.

Taula 1.4.3. Propietats fisicoquímiques del carbamat d'amoni.

Pes molecular (g/mol)	78
Densitat a 20°C (kg/m³)	1380
Punt de fusió (°C)	150
Pressió de vapor a 20°C (hPa)	82,34
Densitat a 20°C (g/cm³)	1,6

A part de la producció d'urea, el carbamat d'amoni té altres aplicacions industrials com la formulació de plaguicides, actua com un agent laudant en la producció d'alguns productes enforats, en la fabricació d'uns certs remeis i productes medicinals, i com a agent útil en diversos processos i experiments químics a causa de la seva capacitat per a alliberar amoníac. ^[22]

1.4.2.2. Biuret

El biuret ($\text{C}_2\text{H}_5\text{N}_3\text{O}_2$) és un subproducte format en la síntesi industrial de la urea, compost per molècules d'urea condensades, alliberant una molècula d'amoníac. Aquest compost és tòxic per moltes plantes i la seva presència en fertilitzants pot inhibir el creixement de les plantes i afectar-les negativament. És per aquest motiu que en la indústria de producció d'urea s'ha de manejar adequadament la presència d'aquest subproducte.

Generalment, el biuret es presenta en forma de sòlid blanc cristal·lí i és soluble en aigua. Sota condicions normals de pressió i temperatura, és estable, però pot descompondre's a temperatures elevades, alliberant gasos com l'amoníac i diòxid de carboni. Degut al seu potencial d'irritació cutània i ocular, s'ha de manejar amb precaució. ^[23]

En la Taula 1.4.4 es presenten les propietats fisicoquímiques del biuret.

Taula 1.4.4. Propietats fisicoquímiques del biuret.

Pes molecular (g/mol)	103,1
Densitat a 20°C (kg/m³)	1580
Temperatura de fusió (°C)	190
Temperatura de descomposició (°C)	>200
Solubilitat en aigua a 25°C (g/L_{aigua})	130

A més de la seva presència en la producció d'urea, el biuret té aplicacions limitades en altres camps a causa de la seva toxicitat per a certs cultius. No obstant això, s'investiga el seu ús com a retardant de l'alliberació de nitrogen en fertilitzants especialitzats, especialment en àrees on es requereix una alliberació més controlada i prolongada del nutrient.

1.4.3. Producte d'interès

1.4.3.1. Urea

La urea és un compost orgànic que pertany al grup de les carbamides. Pel que fa a la seva estructura molecular, és una molècula plana de forma cíclica composta per dos grups amida units per un àtom de carboni central amb fórmula molecular CO(NH₂)₂. No és una substància tòxica, cancerígena ni inflamable.

És un compost químic cristal·lí i incolor. Una característica important és que es dissol fàcilment en aigua i no deixa residus de sals després del seu ús. A més, té un elevat punt de fusió de manera que pot formar cristalls a temperatura ambient.

La urea és un dels fertilitzants més utilitzats en el món agrícola per la seva elevada concentració de nitrogen (46%). Generalment, es comercialitza com un sòlid blanc cristal·lí en forma perlada ja que és fàcil de granular. ^[24]

En la Taula 1.4.5 es presenten les propietats fisicoquímiques de la urea.

Taula 1.4.5. Propietats fisicoquímiques de la urea.

Pes molecular (g/mol)	60,06
Densitat (kg/m³)	809
Temperatura de fusió (°C)	132,7
Calor específic a 0°C (J/kg·K)	1,439
Solubilitat en aigua a 20°C (g_{urea}/100mL_{aigua})	108

Tot i que la principal aplicació de la urea és com a fertilitzat pel seu elevat contingut en nitrogen, també s'utilitza en molts altres sectors industrials com els que s'anomenen a continuació:

- Producció de resines, plàstics i adhesius.
- Tractament de metalls
- En el tractament d'aigües residuals per reduir la toxicitat de certs composts, per facilitar la eliminació de nitrats i com a font de nitrogen en processos biològics.
- Aglutinant d'aïllament per a construcció i enginyeria civil.
- En la indústria química es pot fer servir per la formulació de locions, medicaments i altres productes farmacèutics. ^[25]

1.5. Constitució de la planta

En aquesta secció es presenta la distribució d'àrees de la planta ProUrea Manufacturing. La parcel·la s'ha distribuït en diverses zones en funció de l'activitat que es realitza en cadascuna d'elles. En total es distingeixen x àrees, les qual es presenten a la Taula 1.5.1.

Taula 1.5.1. Àrees i descripció corresponent.

Àrea	Descripció
A-100	Emmagatzematge de matèries primeres
A-200	Reacció
A-300	Separació
A-400	Recirculació
A-500	Concentració
A-600	Tractament aigües
A-700	Granulació
A-800	Emmagatzematge d'urea i zona de càrrega
A-900	Calderes i chillers
A-1000	Oficines, laboratoris, taller i sala de control
A-1100	Tractament de gasos i líquids
A-1200	Gestió de residus
A-1300	Àrea contra incendis
A-1400	Pàrquing
A-1500	Ampliació

A la Figura 1.5.1 es mostra una distribució esquemàtica de totes les àrees en la parcel·la.

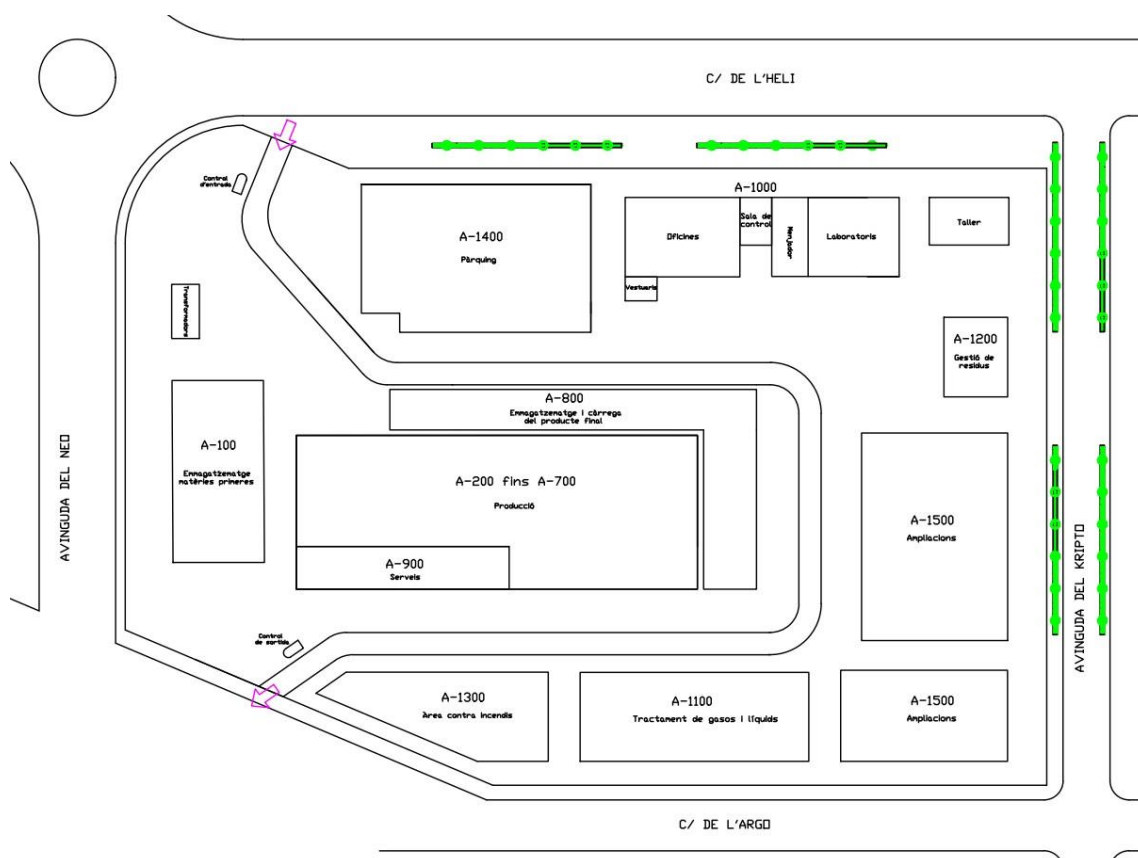


Figura 1.5.1. Distribució de les àrees en la parcel·la.

1.5.1. Àrea-100: Emmagatzematge de matèries primeres

Com ja s'ha comentat anteriorment, les matèries primeres que s'utilitzen a la planta ProUrea Manufacturing, són l'amoníac i el diòxid de carboni. Aquests compostos arriben a la parcel·la a través de canonades i entren al procés de producció d'urea directament d'aquestes, però la planta compta amb uns tancs per emmagatzemar aquestes matèries primeres, de manera que si hi ha qualsevol problema o averia amb les canonades, la planta no ha d'aturar el procés i pot seguir amb la producció sense dependre directament de la xarxa externa. Aquests tancs, com el seu nom indica, es troben a l'àrea d'emmagatzematge de matèries primeres (A-100) i poden alimentar la producció unes vuit hores. Tot i que aquests tancs només s'haurien d'utilitzar en moments puntuals, un cop al mes es buiden i es fa servir el seu contingut per la producció. Seguidament es tornen a omplir i es deixen plens fins el següent buidat rutinari o cas d'emergència.

A més, cal tenir present que s'han de seguir normatives específiques tan a nivell nacional com de la Unió Europea. Primer, és fonamental complir amb la normativa REACH

(Registre, Avaluació, Autorització i Restricció de Substàncies Químiques) de la UE, que regula les substàncies químiques per protegir la salut humana i el medi ambient.

Els tancs s'han de dissenyar i constituir conforme a la normativa europea EN 13445 per a recipients a pressió no sotmesos a flama, assegurant que poden mantenir els compostos en estat líquids sota pressió a temperatura ambient.^[26] També s'han de complir amb normatives com el Real Decret 2060/2008, que regula els equips a pressió i estableix els requisits pel disseny, fabricació i conformitat d'avaluació, i el Real Decret 656/2017, segons el qual els tancs han de tenir sistemes de contenció secundària adequats, sistemes de ventilació i detecció de fuites per controlar i detectar qualsevol escapament.

A més, per emmagatzemar amoníac líquid, s'han de seguir normatives específiques sobre substàncies tòxiques (Real Decret 665/1997) i sobre instal·lacions industrials d'alt risc (Real Decret 840/2015), que garanteixen la salut i seguretat dels treballadors davant de riscos d'exposició a agents químics als llocs de treball i regulen les activitats que involucren substàncies perilloses, respectivament.

Finalment, la inspecció i el manteniment periòdics són fonamentals per garantir la integritat i la seguretat operativa del dipòsit, d'acord amb les directrius establertes en el marc normatiu espanyol i europeu, així com que tot el personal estigui format adequadament en el maneig d'aquestes substàncies i en les pràctiques de seguretat corresponents, garantint així un ambient de treball segur i conforme a les regulacions de seguretat laboral aplicables a Espanya i la Unió Europea.

1.5.2. Àrea-200: Reacció

En aquesta àrea s'hi troben el stripper, el pool condenser i els cinc reactors en paral·lel. Els reactors són de columna de bombolleig i cadascun té 10 plats foradats. Són encamisats per proporcionar la calor necessària, ja que la reacció que es duu a terme al reactor és endotèrmica, i per tenir un control de la temperatura.

A l'entrada de l'àrea de reacció, hi ha bombes elèctriques encarregades de comprimir el diòxid de carboni i l'amoníac per assolir la pressió necessària.

1.5.3. Àrea-300: Separació

Un cop es comença a obtenir urea, aquesta surt del reactor i passa per el stripper. Com que durant la reaccions per produir urea també es generen compostos intermedis, principalment carbamat d'amoni, el corrent es porta a la zona de separació. En aquesta àrea s'hi troben els decomposers, que s'encarreguen de descompondre el carbamat que no s'ha convertit en els seus gasos originals: amoníac i diòxid de carboni.

1.5.4. Àrea-400: Recirculació

Els gasos alliberats (NH_3 i CO_2) durant la descomposició del carbamat d'amoni són recirculats cap al procés de síntesi. Per poder dur a terme aquesta recirculació els gasos són capturats pels absorbers que es troben a l'A-400 i són dissolts en una solució aquosa que facilita la dissolució i la captura eficient dels gasos. Així doncs, els absorbers ajuden també a reduir les emissions de gasos a l'atmosfera.

1.5.5. Àrea-500: Concentració

Seguidament de l'àrea de separació (A-300) es troba l'àrea de concentració, on es troben els evaporadors. La solució que surt del decomposer és enviada als evaporadors, els quals s'encarreguen, mitjançant l'aplicació de calor, d'evaporar l'aigua i separar-la de la solució d'urea, per així augmentar la seva concentració.

L'aigua que surt dels evaporadors es condensa i s'envia a un tanc que emmagatzema aquesta aigua que encara conté algunes restes d'amoniac.

1.5.6. Àrea-600: Tractament aigües

L'aigua d'aquest tanc s'envia al primer desorber, on l'aplicació de calor separa els gasos dissolts en l'aigua. Els gasos alliberats són capturats i enviats de tornada al procés de síntesi. L'aigua que surt del primer desorber encara pot contenir traces de compostos intermedis. Aquesta aigua passa per l'hidrolitzador, on s'aplica calor per ajudar a reduir la quantitat d'amoniac present a l'aigua. Aquest procés assegura la conversió completa dels intermedis i la purificació de l'aigua. Després de l'hidrolitzador, l'aigua es dirigeix al segon desorber. Aquí es fa una separació addicional dels gasos dissolts restants que hagin pogut quedar. Això assegura que l'aigua sigui encara més pura i lliure de gasos abans de la seva reutilització o tractament final.

1.5.7. Àrea-700: Granulació

La solució concentrada d'urea resultant dels evaporadors es processa posteriorment per obtenir urea sòlida. Això es fa mitjançant la granulació en l'A-700 de la planta. En el procés de granulació de la urea, la solució concentrada es polvoritza dins del granulador, on les gotes es solidifiquen formant grànuls. Aquests grànuls calents passen a un assecador de llit fluïditzat, on l'aire elimina la humitat i en redueix la temperatura. Seguidament, són refredats en un refredador usant aire a temperatura ambient o refrigerat, la qual cosa estabilitza la seva forma i millora la seva resistència. Els grànuls

són a continuació conduïts fins a la tamisadora, que els classifiquen segons la mida. Els grànuls massa grans es trituren amb el triturador de rodets i es tornen a introduir al granulador, i els que són massa petits també es recirculen cap a l'entrada del granulador. Els grànuls amb la mida adequada són transportats cap a l'última fase del procés.

1.5.8. Àrea-800: Emmagatzematge urea

Quan es comença a obtenir el producte acabat, aquest s'emmagatzema en tancs. El parc de tancs per l'emmagatzematge d'urea consta de 15 silos d'acer inoxidable de 300 m³ cada un. D'aquesta manera, la planta té capacitat per guardar la urea produïda durant tres dies i no s'hauria d'aturar la producció si algun dia els camions (encarregats de transportar la urea) no poguessin arribar a la planta.

Aquesta àrea es troba contigua a la zona de granulació, ja que és on s'acaba el procés de producció i on s'obté la urea granulada. Així doncs, el producte final es transporta des de l'Àrea-700 fins els silos (A-800) mitjançant una cinta transportadora optimitzant el recorregut.

A més, l'àrea d'emmagatzematge d'urea conta amb espai suficient per tal que els camions puguin arribar còmodament, sense necessitat de fer maniobres, carregar el producte i abandonar la planta.

En aquesta zona, sota cada silo, hi ha una cèl·lula de càrrega que s'encarrega de controlar la vàlvula de sortida del producte final. Quan el camió està situat sota el silo, preparat per la càrrega, la vàlvula de control s'obra i comença a omplir-se el camió amb el producte. Una vegada la cèl·lula de càrrega mesura que ja s'han carregat les 30 tones d'urea granulada al camió, mitjançant un llaç de control, s'envia la senyal de tornar a tancar la vàlvula de sortida.

1.5.9. Àrea-900: Calderes i chillers

En l'A-900 de la planta es troben totes les calderes i chillers de la planta ProUrea Manufacturing. La zona de calderes i chillers és essencial per mantenir l'eficiència i la seguretat dels processos. Les calderes, que poden funcionar amb vapor o amb oli tèrmic, proporcionen la calor necessària per escalfar reactius i mantenir temperatures òptimes. Els chillers eliminen l'excés de calor, assegurant temperatures segures i estables. La coordinació d'aquests equips permet una gestió energètica eficient, optimitza el rendiment de la planta i garanteix la seguretat operativa.

1.5.10. Àrea-1000: Oficines, laboratoris, taller i sala de control

A la planta industrial hi ha una zona on s'hi troben les oficines per coordinar totes les tasques administratives i de gestió, com ara la logística de distribució del producte, el control de qualitat, així com la gestió de la seguretat i el medi ambient. També s'hi gestionen les finances, els recursos humans i les relacions amb clients i proveïdors, essencials per a l'operativitat i viabilitat de la planta.

A l'Àrea-1000 també estan ubicats el laboratori i la sala de control. Al laboratori, els especialistes analitzen mostres de la producció per verificar la qualitat de la urea produïda i assegurar que compleix amb els estàndards i especificacions requerides. També es duen a terme investigacions per millorar els processos i la qualitat del producte. En la sala de control, els tècnics monitoritzen i regulen el procés de producció utilitzant sistemes avançats d'automatització per assegurar que tot funcioni correctament i de manera eficient. Es controlen les variables de procés com la temperatura, pressió i flux de materials per mantenir les condicions òptimes de producció. Aquestes activitats són fonamentals per garantir la seguretat, eficiència i competitivitat de la planta.

1.5.11. Àrea-1100: Tractament de gasos i líquids

Al llarg del procés productiu es generen residus tant gasosos com líquids que necessiten un tractament posterior, per tant, hi ha una zona destinada únicament a aquest tractament.

Pel tractament de gasos, com que és matèria que és difícil de transportar per un gestor extern, s'han de tractar a la mateixa planta. Les emissions que es poden generar i, sobretot, els gasos de venteig provinents dels tancs d'emmagatzematge, es porten a un scrubber per tal de degradar-los. Durant el procés també es genera diòxid de carboni que, com que no supera els límits d'emissió, s'emet a l'atmosfera. Pel que fa als efluents líquids es porten a la EDAR o a gestió externa.

1.5.12. Àrea-1500: Ampliació

Aquesta àrea està destinada a possibles millores de producció. Per així tenir espai per millorar l'eficiència dels processos, reduir els costos energètics, utilitzar l'energia produïda a la fàbrica i altres suggeriments que puguin sorgir per millorar les operacions i aportar beneficis a l'empresa.

1.6. Especificacions i necessitats de servei de la planta

A ProUrea Manufacturing, el correcte funcionament de la fàbrica requereix una sèrie de serveis de planta, els quals garanteixen que es puguin dur a terme totes les activitats necessàries i assegurar-ne, a l'hora, el seu funcionament i seguretat. Els càlculs per saber els serveis de planta que es necessiten es mostren al Capítol 11 (Manual de càlculs).

A la Taula 1.6.1 s'hi representen tots els serveis de planta necessaris per la planta de producció d'urea.

Taula 1.6.1. Classificació dels serveis de planta.

Servei	Classificació	Localització	Àrea/Servei
Aigua de xarxa	Matèria	Externa	Escomesa a peu de parcel·la
Aigua contra incendis	Matèria	Interna	Estació de bombament i reserva d'aigua
Aigua descalcificada	Matèria	Interna	A-900
Oli tèrmic	Matèria	Interna	A-900
Aire comprimit	Matèria	Interna	A-900
Electricitat	Energia	Externa	A peu de parcel·la
Gas natural	Energia	Externa	A peu de parcel·la

A continuació, es descriuen tots els serveis de planta esmentats i es quantifiquen els requeriments de cada un d'aquests.

1.6.1. Aigua de xarxa

A ProUrea Manufacturing es disposa d'aigua que prové de la xarxa a través d'una canonada escomesa a peu de parcel·la de 200 mm de diàmetre. Aquesta aigua s'utilitza principalment a les oficines i laboratoris (A-1000) i a les àrees de vestuaris i menjadors.

Per poder utilitzar aquesta aigua en el procés, per evitar incrustacions a les canonades i equips degut a la precipitació de sals, s'ha de fer un procés previ de descalcificació. Un cop l'aigua s'ha descalcificat, ja podrà ser utilitzada per diferents aplicacions en el procés segons faci falta.

1.6.2. Aigua contra incendis

L'aigua contra incendis prové de l'aigua de xarxa i s'utilitza per subministrar als equips antiincendis. Aquesta aigua es troba emmagatzemada en una balsa de reserva a l'estació de bombament i reserva d'aigua. La capacitat ha de ser suficient per subministrar aigua als equips antiincendis per un període determinat de temps segons la normativa vigent. Així doncs, aquesta balsa ha de tenir una capacitat de 1923 m³ d'aigua.

L'aigua contra incendis arriba a una pressió màxima de 4 kg/cm². Per poder fer arribar l'aigua des de la balsa fins a altres punts de la planta, s'utilitza un sistema de bombeig que augmenta la pressió a la sortida de la balsa i porta l'aigua fins al punt de la planta on es produeix l'incendi.

1.6.3. Aigua descalcificada

Com ja s'ha comentat anteriorment, l'aigua descalcificada prové de l'aigua de xarxa, però aquest rep un tractament previ. L'aigua de xarxa passa per un descalcificador amb el qual s'aconsegueix eliminar la cal. Amb aquest tractament s'evita incrustacions en el sistema de canonades i augmenta la vida útil de les instal·lacions i equips.

1.6.4. Oli tèrmic

Les calderes són els equips que s'encarreguen de subministrar l'energia calorífica als fluids calefactors per tal que aquests puguin aportar la calor necessària als equips que ho necessiten. Per poder abastir tots els equips amb la calor necessària, a ProUrea Manufacturing s'utilitzen sis calderes, dues de les quals funcionen amb vapor d'aigua, mentre que les altres quatre són calderes d'oli tèrmic, ja que ho requereixen les característiques del procés i dels equips.

Les calderes d'oli tèrmic són necessàries per escalfar els reactors, el stripper i els decomposers. L'oli tèrmic utilitzat circula en circuits tancats en cada un dels casos i es necessiten uns 43.800 litres per alimentar tots els circuits, tenir el caudal de circulació adequat i abastir a tots els equips que el requereixen.

A més, s'ha de tenir en compte que l'oli tèrmic s'ha de canviar cada 2 anys, ja que aquest es degrada i perd les seves propietats. Així doncs, durant una de les parades planificades de la planta, es duu a terme aquesta renovació d'oli tèrmic.

1.6.5. Aire comprimit

L'aire comprimit és un servei imprescindible en la planta industrial, ja que és l'encarregat de fer arribar les senyals pneumàtiques a les vàlvules de control. L'aire comprimit es produeix fent passar l'aire a través d'un compressor, el qual augmentarà la seva pressió fins a 6 bars. L'aire comprimit arriba a les vàlvules per les canonades associades a l'àrea de serveis de planta. Per tal que les vàlvules funcionin correctament, aquestes necessiten un cabal d'aire comprimit entre 1,5 i 3 m³/h. Per estimar les necessitats d'aire comprimit de ProUrea Manufacturing, s'agafa el cas més desfavorable, és a dir, es compta que les vàlvules sempre utilitzaran el cabal màxim d'aire comprimit, i el nombre de vàlvules de control de la planta industrial. Tots aquests valors es poden trobar representats a la Taula 1.6.2.

Taula 1.6.2. Requeriment d'aire comprimit de les vàlvules.

Nº total vàlvules	Cabal màxim d'aire (m ³ /h)	Cabal total d'aire (m ³ /h)
89	3	267

Tal com es pot veure a la Taula 1.6.2, per l'òptim funcionament de totes les vàlvules automàtiques de la planta industrial ProUrea Manufacturing, es requereix un cabal total d'aire comprimit de 267 m³/h.

1.6.6. Electricitat

L'electricitat és subministrada a la planta ProUrea Manufacturing a partir d'una empresa externa. Hi ha una connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la, i a partir de l'estació transformadora es converteix l'energia proporcionada per la xarxa a la requerida per la planta.

L'electricitat és un sistema imprescindible a la planta, ja que es fa servir per a les bombes i compressors dels processos així com per a que funcionin molts dels equips amb les condicions de temperatura i pressió adequada. A més, sense electricitat no hi hauria llum a la planta i com a conseqüència tampoc funcionarien els sistemes de seguretat i control.

Així doncs, com l'energia elèctrica és necessària pel funcionament de molts equips i sistemes, cal disposar d'un grup electrogen i un SAI connectat al sistema elèctric de la planta, per si es produeix alguna fallada en el subministrament, com ara una sobretensió o alguna inestabilitat en la freqüència.

Els grups electrògens són un suport per la principal font d'energia. És un dispositiu autònom capaç de generar electricitat, format per un motor tèrmic accionat per un alternador i que funciona amb gas natural. La seva funció és convertir la capacitat calorífica del motor de combustió interna en energia mecànica i després en energia elèctrica. [27]

Un SAI és un sistema d'alimentació ininterrompuda, un dispositiu connectat als equips per garantir que si falla el subministrament d'energia, la seguretat de la planta no es vegi compromesa i el procés pot continuar. Per tant, és important sobredimensionar la mida de l'equip i deixar una reserva d'energia com a mesura de seguretat. [28]

1.6.7. Gas natural

El gas natural també està subministrat per una empresa externa, hi ha una connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm²) que alimenta la planta industrial.

Aquest servei s'utilitza pel funcionament i posada en marxa de la caldera i grup electrogen.

1.7. Planificació temporal

Igual que en qualsevol projecte, és de gran importància tenir una planificació temporal de la construcció de la planta de producció d'urea ProUrea Manufacturing. És necessari tenir presents totes les tasques que s'han de dur a terme i especificar tant la seva durada com la seva precedència, és a dir, quines tasques s'han d'haver acabat abans de poder començar la tasca en qüestió. Tota aquesta informació es troba representada a la Taula 1.7.1.

Taula 1.7.1. Planificació temporal de la construcció de la planta ProUrea Manufacturing.

Nº tasca	Tasca	Duració (dies)	Precedència
1	Enginyeria bàsica	60	-
2	Llicència d'obres i activitats	150	-
3	Enginyeria de detall	120	1
4	Demanda d'equips	130	3
5	Neteja del terreny	30	2
6	Excavacions i cimentació	60	5
7	Instal·lació de subministres	30	6

8	Vials i voreres	40	6
9	Aparcament	15	8
10	Edificació oficines i zona social	120	7
11	Edificació laboratori	90	7
12	Garita de seguretat	5	7
13	Balsa contra incendis	30	7
14	Instal·lació suports, escales, plataformes i baranes	30	7
15	Instal·lació d'equips	90	4, 14
16	Instal·lació canonades del procés	60	15
17	Connexió de les canonades del procés amb els equips	30	16
18	Instal·lació canonades de serveis	60	15
19	Connexió de les canonades de serveis amb el procés	30	18
20	Instal·lació instrumentació	60	16, 18
21	Connexió de la instrumentació amb els equips	30	20
22	Instal·lació sistema elèctric	60	10
23	Connexió elèctrica als equips	30	15, 22
24	Calibratge d'equips	30	23
25	Prova d'equips	30	24
26	Pintura	30	25
27	Neteja	20	26

A partir de tota a informació de la Taula 1.7.1 es representa la planificació de la construcció de la planta industrial amb un diagrama de Gantt, el qual permet veure gràficament l'evolució del projecte. D'aquesta manera es pot saber quines tasques s'han de dur a terme d'una forma visual i fàcil d'entendre.

Així doncs, amb l'ajuda del programa ProjectLibre, a la Figura 1.7.1 es mostra el diagrama de Gantt de la construcció de la planta ProUrea Manufacturing.

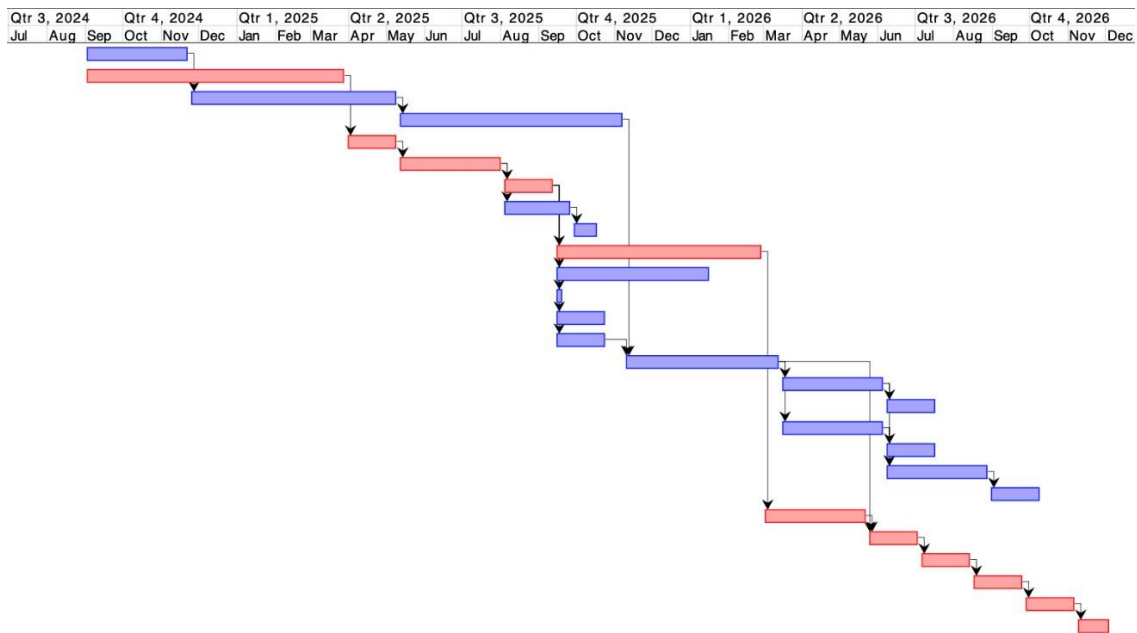


Figura 1.7.1. Diagrama de Gantt de la construcció de ProUrea Manufacturing

En el diagrama de la Figura 1.7.1, cada barra representa una tasca del projecte i la seva longitud, la duració de la tasca. Les tasques de color vermell indiquen el camí crític del projecte, el qual estableix la duració del projecte, si una d'aquestes tasques es retrasa o s'accelera implica una variació en la durada del projecte. En canvi, les tasques que no són crítiques no afecten directament a la duració total del projecte.

Tal com es pot veure en el diagrama de Gantt, el projecte de construcció de la planta de producció d'urea ProUrea Manufacturing començarà el dia 2 de setembre de 2024 i acabarà el de 4 de desembre de 2026. Tenint així una durada total de 2 anys i 4 mesos.

1.8. Bibliografia

- [1] *El Prat de Llobregat - L'àrea metropolitana - Àrea Metropolitana de Barcelona.* (2024). L'àrea Metropolitana. <https://www.amb.cat/web/area-metropolitana/municipis-metropolitans/detall/-/municipi/el-prat-de-llobregat/273504/11692>
- [2] Ajuntament d'El Prat de Llobregat. (2023). *El Prat de Llobregat.* diba.cat. https://www.diba.cat/c/document_library/get_file?uuid=b8e4a71f-4154-4366-a5cb-4bebbeead199&groupId=7294824
- [3] *Destinacions | Aeroport Josep Tarradellas Barcelona-El Prat | AENA.* (2024). <https://www.aena.es/ca/josep-tarradellas-barcelona-el-prat/aerolinies-i-destinacions/destinacions-aeropuerto.html>
- [4] *Línies regulars de transport marítim.* (2024, January 24). Port De Barcelona. <https://www.portdebarcelona.cat/ca/negoci-i-serveis/serveis/serveis-maritims/linies-regulars-de-transport-maritim>
- [5] *Trenes desde El Prat de Llobregat Lineas Horarios y recorridos.* (2024). www.buscaprat.com. <https://www.buscaprat.com/transportes-de-el-prat/trenes/ia7838>
- [6] *Renfe Mercancías.* (2024). <https://www.renfe.com/es/ca/grup-renfe/societats/renfe-mercancias/mercaderies-coneix-nos>
- [7] De Catalunya Generalitat De Catalunya, S. M. (2023, February 22). *Climatologies comarcals - Servei Meteorològic de Catalunya.* Servei Meteorològic De Catalunya. <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima/climatologies-comarcals/>
- [8] *Clima El Prat de Llobregat: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de El Prat de Llobregat.* (n.d.). <https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/el-prat-de-llobregat-56990/>
- [9] *El tiempo en 2023 en el Aeropuerto de Barcelona - El Prat, España - Weather Spark.* (n.d.). Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/h/y/147930/2023/Datos-hist%C3%B3ricos-meteorol%C3%B3gicos-de-2023-en-el-Aeropuerto-de-Barcelona---El-Prat-Espa%C3%B1a#Figures-Temperature>
- [10] Ministerio de Fomento, Gobierno de España (2009). Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02) <https://www.transportes.gob.es/recursos/mfom/0820200.pdf>

- [11] *Simicidad histórica e instrumental costero catalana.* (n.d.). https://www.ign.es/web/resources/sismologia/tproximos/sismotectonica/pag_sismotectonicas/costerocatalana3.html
- [12] Perales Fernandez, J. M. (2018). *Sistema de Gestión de Calidad en una Planta de Fabricación de Urea.* Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/52818/1/TFG JOSE MANUEL PERALES FERNANDEZ.pdf](https://oa.upm.es/52818/1/TFG_JOSE_MANUEL_PERALES_FERNANDEZ.pdf)
- [13] Agroalsa. (2021). *Urea granular :: Fertilizantes agrícolas.* <https://www.fertilizanteagricola.com/urea-granular.html>
- [14] Hamidipour, M., Mostoufi, N., & Sotudeh-Gharebagh, R. (2005). Modeling the synthesis section of an industrial urea plant. *Chemical Engineering Journal*, 106(3), 249–260. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2004.12.020>
- [15] Jiménez Franco, M. (2017). *Ingeniería básica de una planta de producción de urea de 80000 Tn/año.* Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, Universidad Politécnica de Cartagena. <https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/452de0d6-60ee-421a-b97d-babee9e87cac/content>
- [16] *The Snamprogetti urea Process Description.* (n.d.). <http://enggyd.blogspot.com/2010/09/snamprogetti-urea-process-description.html>
- [17] Pérez-Fortes, M., Bocin-Dumitriu, A., & Tzimas, E. (2023). *CO2 Utilization Pathways: Techno-Economic Assessment and Market Opportunities.* [https://www.researchgate.net/publication/272381030 CO2 Utilization Pathways Techno-Economic Assessment and Market Opportunities#pf4](https://www.researchgate.net/publication/272381030_CO2_Utilization_Pathways_Techno-Economic_Assessment_and_Market_Opportunities#pf4)
- [18] Toyo. (2012). *ACES21 Urea Process by Toyo.* https://www.toyo-eng.com/jp/en/solution/energy/pdf/ACES21_Brochure.pdf
- [19] *Flow diagram of the synthesis section in a Stamicarbon process. . .* (2014, December). ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/Flow-diagram-of-the-synthesis-section-in-a-Stamicarbon-process-4-11_fig1_272381030
- [20] Prtr-España. (n.d.). *NH3 (Amoniac) | PRTR España.* <https://prtr-es.es/NH3-amoniaco,15593,11,2007.html>
- [21] Prtr-España. (n.d.-a). *CO2 (Dióxido de carbono) | PRTR España.* <https://prtr-es.es/Dioxido-carbono-774112007.html>

- [22] ROTH. (2024). *Ficha de Datos de Seguridad: Carbamato de amonio*. <https://www.carlroth.com/medias/SDB-1NPK-ES-ES.pdf?context=bWFzdGVyfHNIY3VyaXR5RGF0YXNoZWV0c3wyNjU2NzB8YXBwbGljYXRpb24vcGRmfGhlny9oMTAvOTE0MjExOTkyMzc0Mi9TREJfMU5QS19FUy5wZGZ8OTc5Yjc0ZmI0ZjQwOTUyODFhNTllYjZhYWw3ZDRhNGQ5NmY1ZDRjMGRhZDczNWVmZTA1OTY5NTkwZjM0ZjM3NA>
- [23] ROTH. (2024). *Ficha de Datos de Seguridad: Biuret*. https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/2/SDB_2675_ES_ES.pdf
- [24] GeeksforGeeks. (2023, December 19). *Urea Formula Structure, Properties, Uses, Sample questions*. GeeksforGeeks. <https://www.geeksforgeeks.org/urea-formula-structure-properties-uses-sample-questions/>
- [25] Torres, D. (2023, June). *Urea granulada: características y usos de este elemento*. Liplata. <https://www.liplata.com/urea-granulada-caracteristicas/>
- [26] UNE. (2021). *UNE Normalización Española*. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0065775>
- [27] GRUPEL. (2022, June 2). *¿Qué es un grupo electrógeno? | Grupel*. <https://grupel.eu/es/faqs/que-es-un-grupo-electrogeno/>
- [28] PC Componentes. (2024). *Que es un SAI*. <https://www.pccomponentes.com/que-es-un-sai-y-para-que-sirve>