PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ETILBENZÈ

TREBALL DE FI DE GRAU EN ENGINYERIA QUÍMICA

EBYL

Carles Contreras Rafanell
Aarón Llera Toro
Elena Hurtado López
Karima Jihari Bouabidi
Emma Zurera Gómez
Víctor Rodrigo Sánchez Altabás
Miguel Ángel Melendo Castaño

Tutor: Albert Bartrolí Almera

Cerdanyola del Vallés, Juny de 2023

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona
Escola d'Enginyeria

EBYL

Volum 1. Especificacions

Taula de continguts

1. Especificacions del projecte 3
1.1. Bases del projecte 3
1.2. Abast del projecte 3
1.2.1 Disseny d'unitats d'emmagatzematge de matèries primeres i estació de càrrega i descàrrega 4
1.2.2 Disseny d'unitats de procés i reacció per la producció i purificació del producte 4
1.2.3 Disseny de l'emmagatzematge del producte acabat 4
1.2.4 Disseny del sistema de control 4
1.2.5 Disseny d'àrees de serveis necessaris 4
1.2.6 Disseny d'àrees auxiliars 4
1.2.7 Disseny sistemes de seguretat 4
1.2.8 Disseny de la zona de tractament de gasos, líquids i sòlids seguint la normativa ambiental 4
1.2.9 Avaluació de la viabilitat econòmica de la planta 5
1.3 Localització de la planta 5
1.3.1 Paràmetres d'edificació de la planta 5
1.3.2 Plànol de la parcel·la 5
1.3.3 Serveis disponibles en la planta 7
1.3.4 Clima 7
1.3.5 Comunicacions i accessibilitat 9
1.3.6 Abreviacions 10
1.4 Mètodes d'obtenció d'etilbenzè 10
1.4.1 Obtenció per catalitzador de clorur d'alumini 10
1.4.2 Obtenció per catalitzador de zeolita 11
1.4.3 Obtenció per fraccionament C8 11
1.5 Descripció del procés productiu 12
1.5.1 Procés de fabricació 12
1.5.2 Diagrama de blocs 17
1.5.3 Diagrama de procés 18
1.6 Característiques dels compostos implicats en el procés 21
1.6.1 Matèries primes 21
1.6.2 Catalitzador 23
1.6.3 Subproducte 23
1.6.4 Producte d'interès 24
1.7 Especificacions i necessitats de serveis 25
1.7.1 Aigua 25
1.7.2 Electricitat 27
1.7.3 Líquid de refrigeració 28
1.7.4 Aire comprimit 28
1.7.5 Vapor d'aigua 28
1.7.6 Gas natural 29
1.7.7 Nitrogen 29

1.8 Constitució de la planta 30
1.8.1 Àrea-100: Emmagatzematge dels reactius 31
1.8.2 Àrea-200: Reacció 31
1.8.3 Àrea-300: Zona de separació 32
1.8.4 Àrea-400: Torres de rectificació 32
1.8.5 Àrea-500: Emmagatzematge del producte 32
1.8.6 Àrea-600: Serveis i taller 33
1.8.7 Àrea-700: Oficines i laboratoris 33
1.8.8 Àrea-800: Tractament de gasos, sòlids i líquids 33
1.8.9 Àrea-900: Càrrega i descàrrega 33
1.8.10 Àrea 1000: Ampliacions 34
1.9 Aplicació del producte 34
1.10 Planificació temporal 34
1.11 Bibliografia 37

1. Especificacions del projecte

1.1. Bases del projecte

L'objectiu del present projecte és l'estudi de la viabilitat per a la construcció, operació i rendibilitat econòmica en el disseny d'una planta química per a la producció de 350.000 Tn/any d'etilbenzè. Es dissenya la planta per treballar en continu a partir d'una reacció d'alquilació entre el benzè i l'etilè. Hi ha diversos mètodes per a dur a terme el procés. S'ha decidit que en la planta EBYL es realitzarà una reacció en fase gas.

L'etilè arriba a la planta en fase gasosa per canonada a una pressió de 10 MPa juntament amb altres productes, el metà i l'età. La fracció en volum de cada component es presenta a la ***Taula 1.1.***

Taula 1.1. Composició del corrent d'entrada d'Etilè en volum.

Metà [%]	Età [%]	Etilè [%]
20	30	50

El metà i l'età són components inerts, per tant, no reaccionen amb cap altre compost. El benzè arriba per cisterna en fase líquida amb petites impureses de toluè. La fracció en volum es mostra en la ***Taula 1.2***.

Taula 1.2. Composició del corrent d'entrada de benzè en volum

Benzè [%]	Toluè [%]
99,15	0,84

Durant el procés de producció s'han de complir els següents requisits:

- La planta opera en continu 350 dies a l'any, els 15 dies restants es reserven principalment per al manteniment de la planta.

- El reactiu que arriba en fase gas, l'etilè, passa per una vàlvula d'expansió, la funció de la qual és reduir la pressió de 100 a 30 bar, ja que és la pressió d'operació.

- L'etilbenzè produït es dividirà en una part que servirà com a matèria primera per a la producció d'estirè d'una planta química propera i la part restant quedarà emmagatzemada en tancs per a la seva posterior comercialització.

- La reacció principal és l'alquilació del benzè amb etilè per a produir etilbenzè, però cal tenir presents els subproductes que es generaran. Més endavant es presenten les diferents formes d'obtenció industrials.

1.2. Abast del projecte

Per al disseny de la planta i per tal d'assegurar un correcte funcionament, cal tenir present com a mínim els següents punts: respectar la normativa de seguretat, d'edificació i medi ambient.

1.2.1 Disseny d'unitats d'emmagatzematge de matèries primeres i estació de càrrega i descàrrega

Donat que la producció anual és bastant elevada, s'ha de tenir present que la zona d'emmagatzematge ocuparà una gran part de la parcel·la de la planta. Aquesta zona ha d'estar allunyada de la de serveis personals, atès que el producte que s'emmagatzema és un líquid inflamable, tòxic i perillós per a les persones, només amb la seva inhalació.

Per a l'estació de càrrega i descarrega, s'ha de tenir en compte que l'entrada de camions no pot ser la mateixa que la de sortida. Els camions han de tenir una entrada i una sortida en particular. Això és a causa de l'alta producció, si els camions surten per on accedeixen a la planta, es creuen entre si impedint el pas.

1.2.2 Disseny d'unitats de procés i reacció per la producció i purificació del producte

S'ha de definir correctament quantes unitats de reacció es necessiten, és a dir, quants reactors calen per a assolir una conversió òptima.

Igual que es dissenyen els reactors, també s'ha d'avaluar quins són els equips necessaris per a la purificació, tant dels reactius com del producte, i així poder recircular les matèries primeres i aprofitar-les al màxim.

1.2.3 Disseny de l'emmagatzematge del producte acabat

Un cop assolida la purificació del producte, s'ha d'emmagatzemar. Tenint en compte la inflamabilitat cal dissenyar els tancs d'emmagatzematge, disseny el qual es regeix per la normativa APQ-1. Els tancs d'emmagatzematge han estat dissenyats per a tenir una reserva de tres dies.

Una part s'envia per canonada a la planta més propera, per a la producció d'estirè, i d'aquesta manera la planta EBYL fomenta l'economia circular.

1.2.4 Disseny del sistema de control

S'ha d'efectuar un disseny del sistema de control per a les possibles variables del procés que es poden desviar dels rangs d'operació. També s'usa el sistema de control per al monitoratge d'alguns paràmetres.

1.2.5 Disseny d'àrees de serveis necessaris

Per a dur a terme una correcta producció, cal subministrar una sèrie de serveis a cada àrea de la planta. Els serveis que s'han de subministrar són per exemple, aigua, nitrogen, electricitat, aire comprimit i gas natural.

1.2.6 Disseny d'àrees auxiliars

Es dissenyen les àrees d'aparcament, control d'accessos, oficines i laboratoris.

1.2.7 Disseny sistemes de seguretat

Durant la producció a la planta EBYL cal fer un estudi de quins són els possibles riscos que hi poden haver. És per això que s'estudia mitjançant un HAZOP i amb la càrrega de foc, els possibles inconvenient que poden sorgir i implementar mesures de seguretat com protecció dels operaris o extinció d'incendis.

1.2.8 Disseny de la zona de tractament de gasos, líquids i sòlids seguint la normativa ambiental

En diferents punts de la planta s'hi generen residus que requereixen un tractament posterior, segons la normativa ambiental, és per això que s'hi destina una àrea per a aquests tractaments. Els residus que no es tracten a la planta són enviats a gestió externa.

1.2.9 Avaluació de la viabilitat econòmica de la planta

Finalment, es realitza un estudi de viabilitat econòmica per a determinar si el projecte és rendible. Es du a terme tenint presents els costos dels equips, dels serveis i de les matèries primeres. Per contrarestar tots aquests costos estan els ingressos obtinguts de la venda d'etilbenzè. Si els ingressos superen els costos, l'empresa serà rendible i s'obtenen beneficis.

1.3 Localització de la planta

La planta es troba en el polígon industrial fictici 'Gasos Nobles', concretament al municipi de Tarragona situat a la comarca del Tarragonès, província de Tarragona, Catalunya.

Tarragona amb codi postal 43001, presenta una superfície de 64,63 km² i té una població de 134.883 habitants concentrats en el nucli urbà.

Aquest municipi es caracteritza per trobar-se rodejat de polígons industrials, el que suposa un gran avantatge a l'hora d'escollir la localització on situar un nou projecte industrial, com el disseny d'una planta de producció d'etilbenzè. La proximitat entre fàbriques facilita l'economia circular entre elles.

1.3.1 Paràmetres d'edificació de la planta

La parcel·la de la planta està delimitada per les avingudes i pels carrers, comprèn una superfície de 53.235 m^2.

Aquesta parcel·la està definida per uns paràmetres d'edificació regits per la normativa urbanística industrial de la zona i que estan especificats a la ***Taula 1.3.***

Taula 1.3. Paràmetres d'edificació de la planta.

Especificabilitat	1.5 m^2 sostre/ m^2 sòl
Ocupació màxima de parcel·la	75%
Ocupació mínima de parcel·la	20% de la superfície ocupada màxima
Altura màxima	16 m i 3 plantes excepte en la producció justificant la necessitat del procés
Altura mínima	4 m i una planta
Aparcament	1 plaça/ 150 m² construïts
Distància entre edificis	1/3 de l'edifici més alt amb un mínim de 5 m

El 75% de la superfície màxima ocupada respecte al total correspon a 37.264,5 m^2 i l'ocupació mínima respecte a la màxima és de 7.452,9 m^2 . En el cas de la planta EBYL la superfície construïda ha estat de 15.600 m^2, i com marca la normativa correspondrà a 130 places d'aparcament.

1.3.2 Plànol de la parcel·la

Es presenta a continuació el plànol de la parcel·la amb totes les àrees que es presenten més endavant. Es destaca la zona de càrrega i descàrrega amb una sortida pròpia, és a dir, els camions no surten per la mateixa zona d'entrada, sinó que per a fer el recorregut mínim imprescindible es pensa una sortida contigua a la zona de càrrega i descarrega. A la ***Figura 1.1*** es mostra el plànol de la parcel·la.

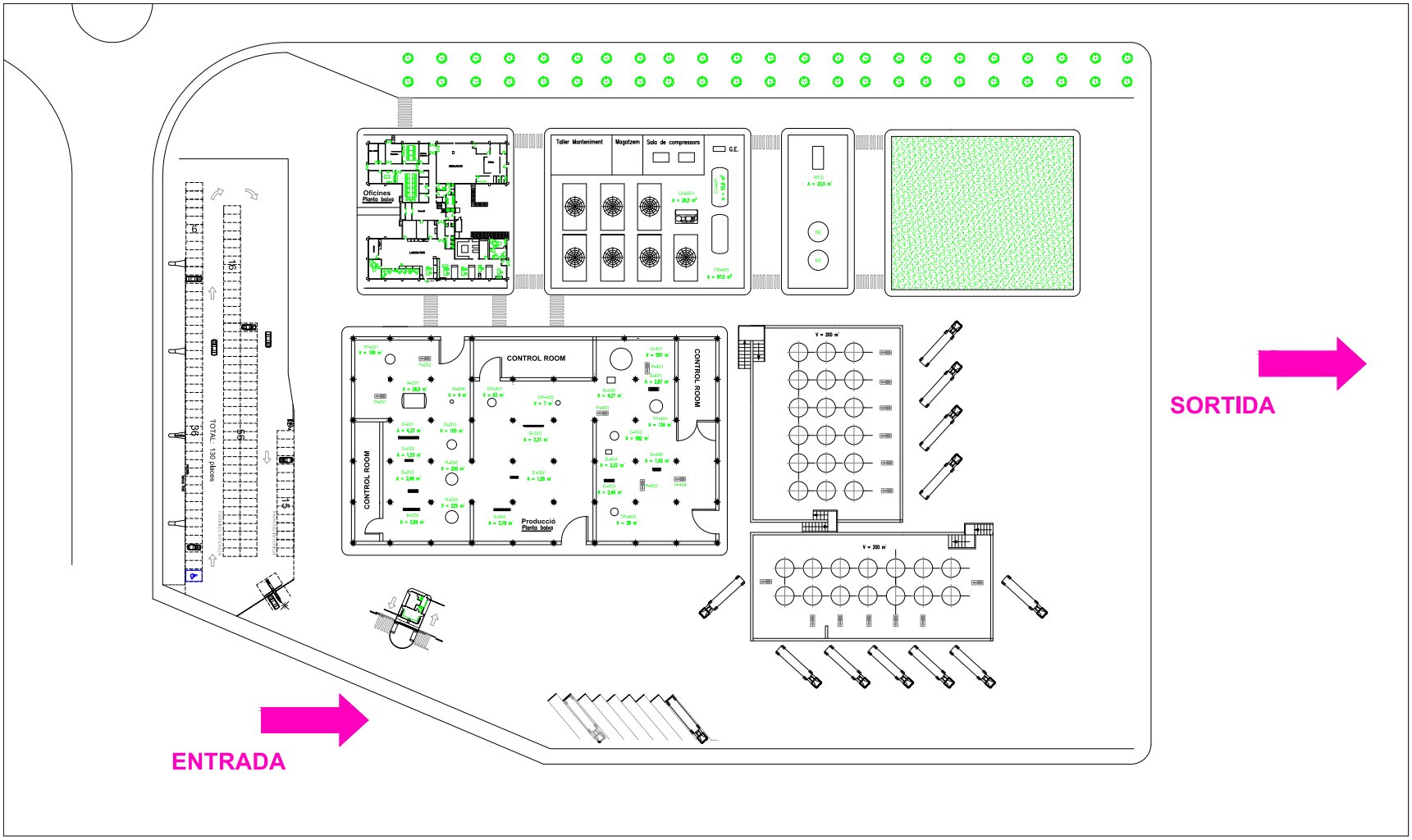

Figura 1.1 Plànol de la parcel·la.

1.3.3 Serveis disponibles en la planta

La planta EBYL requereix uns serveis mínims per tal de poder ser utilitzada. Aquests queden detallats a la ***Taula 1.4.*** En aquesta taula a més a més dels serveis també estan els paràmetres de disposició de cadascun d'ells i la resistència al terreny sobre del qual es construirà.

Taula 1.4. 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
Gas natural	Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm²)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m (diàmetre del col·lector de 800 mm)
Aigua d'incendis	La màxima pressió és de 4 kg/cm², cal dissenyar una estació de bombament i reserva d'aigua
Aigua de xarxa	Escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm² amb un diàmetre de 200 mm
Terreny	Resistència del terreny de 2 kg/cm² a 1,5 m de profunditat sobre graves

El gas natural que s'utilitzarà a la planta EBYL procedeix del mateix procés de producció, però per a la posada en marxa sí que es requerirà un subministrament extern.

1.3.4 Clima

El factor meteorològic és un altre paràmetre molt important a l'hora de valorar on construir la planta. Afecta tant als materials d'edificació com a l'energia requerida. S'estudiarà la temperatura, les precipitacions i la humitat per tal d'evitar possibles danys als equips instal·lats.

1.3.4.1 Temperatura

Tarragona té un clima mediterrani, és suau i generalment càlid. La temperatura mitjana anual es troba a 16 ºC, on el punt més calorós és al mes de juliol amb una temperatura mitjana de 24,7 ºC, i el moment més fred és al gener amb 8 ºC. Com es pot veure la diferència entre estiu i hivern no és significativa, això és a causa de la proximitat al mar. [1]

La temperatura és un factor important, ja que condicionarà tant el disseny d'equips de refrigeració com els *heaters* o cremadors i l'energia necessària per a l'ús d'aquests.

En aquest procés la temperatura de reacció és molt elevada, entre 400 - 550 ºC, segons el punt del procés.

Per una banda, en els mesos més freds l'energia necessària per a escalfar el benzè prèviament a l'entrada del transalquil·lador, i quan es produeix un canvi de fase de líquid a gas, incrementa. Per una altra banda, quan la temperatura d'ambient sigui més alta el que es veurà més afectat energèticament és la torre de refrigeració.

*1.3.4.*2 Precipitacions

Donat que l'alçada de les torres de rectificació supera l'alçada màxima edificable (16 m), el sostre de la planta en la zona de reacció caldrà que estigui al descobert. Per això el nivell de precipitacions anual és un factor important. En el cas del municipi de La Canonja, la mitja de precipitacions anual és de 55,1

mm. Les precipitacions estan directament relacionades amb l'estació de l'any igual que la temperatura, com es veu a la ***Figura 1.2.*** Hi ha més precipitacions en els mesos freds que en aquells on la temperatura és més elevada. Per exemple, en el mes de juliol es recull un punt mínim de 21 mm i a l'octubre s'arriba a 88 mm, quatre vegades més precipitacions. A la ***Figura 1.2.*** es mostra el Climograma anual de l'any 2022 a Tarragona [1].

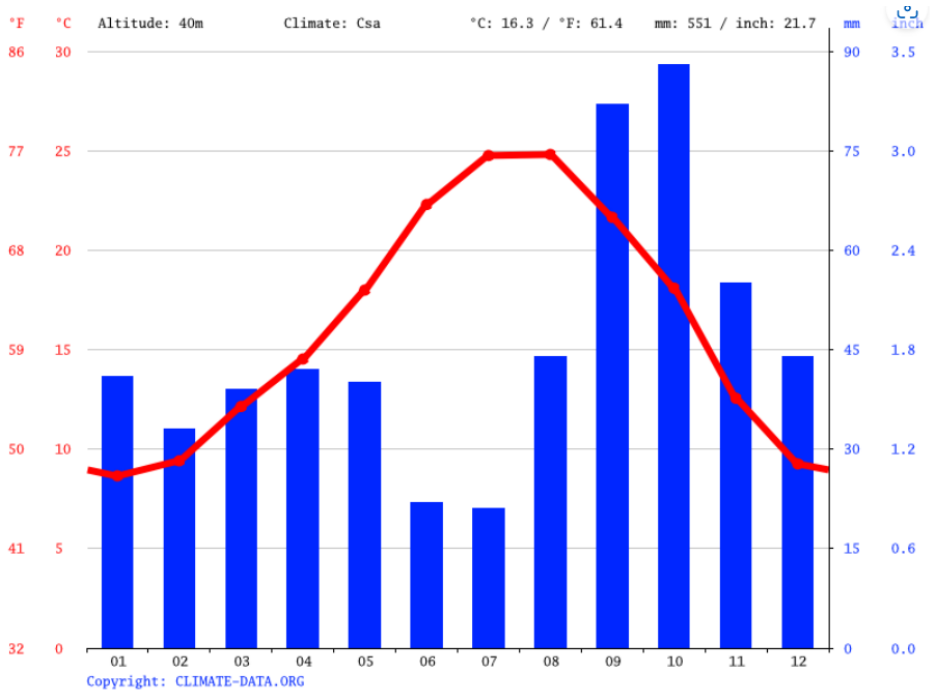

Figura 21.2 Climograma anual de l'any 2022 a Tarragona.

1.3.4.3 Humitat

La Canonja, com s'ha mencionat prèviament, és un municipi costaner. Aquesta proximitat afecta la humitat relativa, ja que el mar aporta humitat a l'ambient. El valor més baix es troba al mes de juny amb un 61,92% i el mes amb major humitat és al desembre amb un 74,07% [1].

Aquesta humitat afecta el material de la maquinària que s'utilitza durant el procés, s'ha de prevenir l'oxidació i la corrosió. La presència d'aigua a l'ambient genera corrosió i quan els metalls reaccionen amb l'aire, s'oxiden.

Així doncs, en el moment del disseny dels equips s'emprarà l'acer inoxidable 316L, un material antioxidant i anticorrosiu, que garanteix un bon i llarg funcionament.

1.3.4.4 Llum diürna

Actualment, l'ús de les energies renovables està en auge. Obtenir-ne energia gràcies a la llum solar i poder-la transformar en electricitat és un gran avantatge mediambiental i econòmic, totes dues a llarg termini.

L'ús d'energia renovable és un dels objectius per al disseny d'aquesta planta, per això s'estudiarà prèviament la llum diürna que rep el municipi de Tarragona.

Com era d'esperar pel clima mediterrani del municipi, la quantitat d'hores de llum solar és elevada. Juny és el mes amb major nombre d'hores solars diàries, amb una mitjana de 12,45 hores. En canvi, el mes amb menys hores es troba al gener amb una mitjana de 7 hores. Anualment, es reben de forma

mensual aproximadament 112 hores[1]. Aleshores, amb aquests resultats es valora utilitzar panells solars en la planta per a l'obtenció d'energia que posteriorment es farà servir a les instal·lacions. Aquesta idea de futur es troba al ***Volum 12. Millores i ampliacions.***

1.3.5 Comunicacions i accessibilitat

Per continuar amb l'estudi de viabilitat de Tarragona, s'analitzaran les possibles rutes i vies amb les quals es pot accedir a la planta. És important trobar rutes alternatives per garantir sempre l'arribada de matèria primera i mantenir la continuïtat del procés. A més a més, cal assegurar-se que el personal també tingui un ràpid accés a les instal·lacions. En el cas de la planta EBYL, l'etilè vindrà per canonada així que l'única matèria primera que serà transportada per carretera és el benzè.

Els mitjans de transport disponibles es divideixen en: terrestre, que engloba camions, cotxes, trens i ferrocarrils, el transport marítim, amb vaixells, i l'aeri, amb avions. Aquest últim no es tindrà en compte, ja que es considera que no serà viable econòmicament i al ser un compost inflamable, no es recomana el seu transport aeri. És un producte catalogat com a substància perillosa i, per tant, els requisits pel seu transport són més complicats i, com a conseqüència, més costos.

1.3.5.1 Transport terrestre

En aquesta secció es presenten les principals carreteres que travessen Tarragona. Aquesta mena de transport és la principal via d'accés als treballadors i de recepció dels camions cisterna que arriben per a l'entrega del reactiu en estat líquid. També és el principal medi de distribució de producte. A la ***Figura 1.3*** es mostren les carreteres principals que travessen Tarragona.

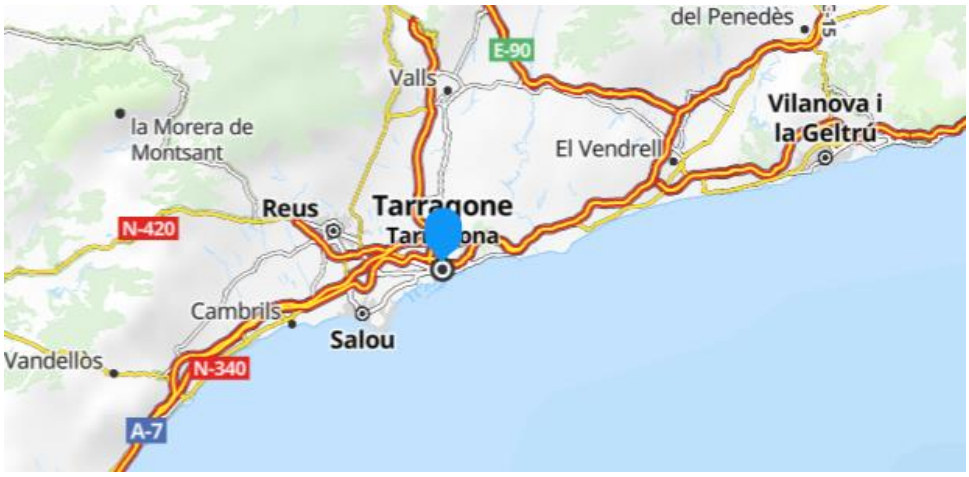

Figura 1.3 3 Carreteres principals que travessen Tarragona.

Les carreteres principals que travessen Tarragona són la A-7, N-420, N-340, E-90, AP-7 i C-31 B.

En el transport terrestre també tenim trens gestionats per RENFE i Adif que connecten Tarragona regionalment amb Barcelona, Tortosa, Reus i Lleida i, també estan connectats a una línia nacional amb València, Andalusia, Madrid, etc. Internacionalment, es connecta amb França, el que no només facilita una bona connexió per a l'obtenció de matèria primera sinó que també obre la possibilitat de la venda d'etilbenzè a major escala.

1.3.5.2 Transport marítim

Tarragona té el seu propi port que s'utilitza principalment per a la importació i exportació de mercaderies. Es tracta d'un punt clau en la ubicació, ja que la seva proximitat a la planta i facilitat pel transport, agilitza l'obtenció de matèries primeres.

1.3.5.3 Transport aeri

Com s'ha mencionat abans, aquest transport tot hi la seva proximitat a l'aeroport de Reus queda descartat per al transport de matèries primeres però si que seria una opció per a treballadors.

1.3.6 Abreviacions

En la secció que es mostra a continuació, s'hi presenten les abreviacions realitzades durant el projecte, que es mencionen en altres volums. A la ***Taula 1.5.*** es mostren dites abreviacions.

Taula 1.5. Abreviacions amb el nom complert.

Nom complert	Abreviació
Etilbenzè	EB
Etilè	E
Benzè	B
Polietilbenzè	PB
Dietilbenzè	DEB
Chiller	CH
Caldera de vapor	CV
Compressor	K
Bomba	P
Bescanviador	E
Columna de rectificació	C
Columna flash	CF
Tanc pulmó	TP
Heater/Cremador	H
Reactor	R

1.4 Mètodes d'obtenció d'etilbenzè

En aquesta secció es presenten i descriuen els diferents mètodes d'obtenció d'etilbenzè possibles. Generalment, consta de tres passos essencials. El primer és l'alquilació del benzè amb etilè per produir etilbenzè. El següent consisteix en la transalquilació on el polietilbenzè que es produeix en l'alquilació reacciona amb benzè per produir més etilbenzè. I, en últim lloc, es duu a terme una purificació del producte [2].

1.4.1 Obtenció per catalitzador de clorur d'alumini

Els processos amb clorur d'alumini es van començar a comercialitzar a partir del 1930. La producció d'etilbenzè a partir de l'alquilació del benzè amb etilè és altament exotèrmica i la presència del clorur d'alumini assoleix rendiments de reacció estequiomètrics. Aquest procés normalment es duu a terme en fase líquida amb la presència de clorur d'etil o clorur d'hidrogen com a promotor de la reacció, això implica una reducció del catalitzador necessari.

En el reactor s'originen tres fases, l'aromàtica en fase líquida, l'etilè en fase gas i una fase complexa sòlida del catalitzador. Per aconseguir que el catalitzador i els reactius estiguin en contacte, és a dir, que la fase aromàtica i el complex del catalitzador reaccionin, s'introdueix una barreja del catalitzador amb benzè sec i polialquilbenzens de forma contínua. Pel que fa als reactius restants que serien l'etilè i els promotors, s'injecten en el reactor per assolir una conversió del 100% i una bona agitació.

Per evitar reaccions secundàries no desitjades, s'opera amb una ràtio molar de 0,3 – 0,35 d'etilè/benzè. Si s'opera amb una ràtio més elevada, es generen més reaccions secundàries.

La temperatura de la reacció és de 130 ºC. Un augment de temperatura provoca una desactivació del catalitzador i la formació de nanoaromàtics i polialquilbenzens. La pressió es troba en l'orde de 2,5 – 3,5 MPa.

Com que la mescla de la reacció és altament corrosiva, els materials dels reactors han d'estar revestits de vidre o maó.

1.4.2 Obtenció per catalitzador de zeolita

Es distingeixen tres fases possibles: la fase líquida, en vapor i mixta. En cada una s'usa un tipus de zeolita en particular.

1.4.2.1 Fase líquida

Per a aquesta fase hi ha dos processos diferents, on s'utilitza la *MCM-22-zeolite* o beta zeolita (Y). Aquestes zeolites emprades tenen uns porus més amples respecte a la que s'usa en fase vapor. Aquest fet implica certes limitacions en la difusió. La puresa que ha de tenir l'etilè ha de ser elevada per poder dur a terme la reacció. Llavors, cal afegir una etapa addicional, que és la purificació dels reactius.

Les condicions d'operació han de ser les següents: s'ha de mantenir la temperatura d'operació per sota de la temperatura crítica del benzè (289 ºC) i, la pressió ha d'estar entorn d'uns 4 MPa per a mantenir els gasos volàtils en solució [3].

1.4.2.2 Fase vapor

La zeolita emprada per a la fase vapor és la ZSM-5. Per aquest procés no cal un etilè pur i hi ha més flexibilitat a l'hora de purificar o no l'etilè. Els paràmetres d'operació es troben en uns rangs de 350 - 450 ºC i 1-3 MPa, introduint benzè en excés. Operant amb aquestes temperatures l'energia obtinguda a causa de la reacció exotèrmica pot ser valorada en la mateixa planta.

El catalitzador necessita una regeneració periòdica, ja que es desactiva per la formació de coc.

1.4.2.3 Fase mixta

En la fase mixta, la principal diferència respecte als dos mètodes anteriors es troba en el reactor d'alquilació, que conté les bales de zeolites en la columna de destil·lació. En aquest procés el benzè es troba en estat líquid i no en fase gas, que entra conjuntament amb l'etilè en fase gas al reactor d'alquilació i a la columna de destil·lació. Es destaca també que el transalquil·lador funciona en fase líquida.

1.4.3 Obtenció per fraccionament C8

L'obtenció per fraccionament C8 consisteix a recuperar l'etilbenzè, que es troba en els corrents juntament amb xilè, mitjançant columnes de destil·lació. No és molt comú aquesta via d'obtenció, ja que la separació del xilè i etilbenzè és bastant complexa.

1.5 Descripció del procés productiu

1.5.1 Procés de fabricació

1.5.1.1 Elecció i justificació del procés

A la planta EBYL, el procés és dut a terme en fase vapor utilitzant específicament les zeolites ZSM-5 com a catalitzador. Es fa en aquesta fase, per què els reactius arriben a la planta EBYL amb impureses i en fase vapor no cal fer un pretractament per efectuar la reacció. Fet que per a la fase liquida o mixta sí que és necessari pel fet que s'usa un altre tipus de zeolita i caldria una inversió extra per a purificar les matèries primeres per a dur a terme l'etapa de reacció.

Es descarta també el procés amb el catalitzador de clorur d'alumini, perquè el catalitzador és iònic i àcid, fet que provoca que sigui altament corrosiu i desprengui molta energia. Per tant, el material dels equips ha de ser anticorrosiu. Aquest fet provoca un encariment del procés a causa dels materials que cal fer servir. Es destaca també que el clorur d'alumini és molt higroscòpic i pot arribar a ser molt contaminant en fase líquida.

També es descarta el mètode de fraccionament C8, no és habitual aquesta via i, com s'ha mencionat anteriorment, la separació de xilè i etilbenzè és bastant complexa, és per això que es descarta.

1.5.1.2 Descripció del procés

A continuació, s'explica de forma detallada com es duu a terme el procés de producció a la planta.

1. Reacció

L'entrada de procés consta de dos corrents diferenciats, un per l'etilè i l'altre per l'entrada de benzè. El benzè abans d'introduir-se al reactor, primer circula per un cremador. Com que ve per cisterna en fase líquida, caldrà escalfar-lo perquè canviï de fase i poder dur a terme el procés en fase vapor. L'etapa d'alquilació consta de tres reactors adiabàtics en sèrie de llit fix monotubulars, on entren els reactius. L'etilè entra de forma seqüenciada, amb la mateixa quantitat en els reactors, és a dir, s'introdueix una tercera part de la quantitat de reactiu en cada reactor. El benzè, per un altre costat, entra directament al primer reactor. A la ***Taula 1.6*** es mostra la conversió assolida en cada reactor d'alquilació.

Taula 1.6. Conversió assolida per a cada reactor d'alquilació.

X (%) Reactor R-201	X (%) Reactor R-202	X(%) Reactor R-203
82,79	83,19	81,23

S'incorporen tres reactors en sèrie per a tenir major control de la temperatura i evitar inconvenients, ja que la reacció és altament exotèrmica i pot provocar una reacció *runaway*.

Si s'agrupessin els tres reactors de volums diferents en un únic reactor amb un volum total igual al que conforma el sistema en sèrie, el control de temperatura seria molt complex.

Cal destacar que per als reactors d'alquilació és necessària una proporció major de benzè respecte de l'etilè, per evitar la formació de reaccions secundàries i assolir una major formació d'etilbenzè. Aleshores, el reactiu que limita la reacció és l'etilè i per cada mol d'etilè que entra al sistema de reacció ha d'entrar 7/8 mols de benzè.

En l'etapa d'alquilació és on es produeixen les reaccions on es produeix etilbenzè i dietilbenzè amb la presència del catalitzador ZSM-5. Per garantir la formació d'aquests dos productes, cal operar en un rang de temperatures de 380 – 450 ºC. Superades aquestes temperatures, el benzè reacciona generant compostos indesitjats com el xilè que dificulta posteriorment la seva separació amb la del producte desitjat. Es presenta la primera reacció que es duu a terme en l'alquilació sobre la zeolita:

$$C_6H_6 + C_2H_4 \xrightarrow{ZSM-5} C_6H_5C_2H_5 \quad (1)$$

Aquesta primera reacció és la reacció del benzè amb l'etilè per a produir etilbenzè. És la reacció de major interès i és la que es vol afavorir en els reactors en sèrie. Per fer-ho, la quantitat de benzè és molt superior respecte a la de l'etilè i es controla la temperatura d'operació.

La segona reacció present a l'alquilació és la reacció de la petita impuresa de toluè que conté el benzè.

$$C_6H_5CH_3 + 2C_2H_4 \xrightarrow{ZSM-5} C_6H_5C_2H_5 + C_3H_6 \quad (2)$$

La impuresa que conté el benzè reacciona també amb l'etilè generant etilbenzè i propilè. Com que la impuresa es troba al 0,84%, la formació d'aquests dos compostos és mínima. Més endavant, en la purificació del producte, el propilè es separa del producte final, fet que s'aprecia en els balanços de matèria.

La tercera reacció present és l'etilbenzè que reacciona amb l'etilè generant dietilbenzè.

$$C_6H_5C_2H_5 + C_2H_4 \xrightarrow{ZSM-5} C_6H_4(C_2H_5)_2 \quad (3)$$

Aquesta és una reacció no desitjada, provocant un producte que dins del procés serà tractat per eliminar-lo i aconseguir etilbenzè. Aquest objectiu s'assoleix amb una reacció de transalquilació.

L'etapa de transalquilació té la finalitat d'obtenir més etilbenzè a partir dels polialquilbenzens, concretament, del dietilbenzè que es forma en els reactors d'alquilació. El reactor on s'hi du a terme aquesta reacció pot operar a temperatures més elevades, concretament opera a 500 ºC, gràcies a que no hi ha cap component que presenti una temperatura crítica i no es formen productes indesitjables.

A continuació, es presenta la reacció que es produeix en el reactor de transalquilació.

$$C_6H_4(C_2H_5)_2 + C_6H_6 \xleftrightarrow{ZSM-5} 2C_6H_4C_2H_5 \quad (4)$$

El dietilbenzè reacciona amb el benzè per a produir més producte d'interès, obtenint una conversió del 99,78% en aquesta etapa.

El metà i età no estan presents en cap reacció anterior pel fet que no reaccionen, actuen com a inerts que se separen de tots els components en l'etapa de purificació i, d'aquesta manera s'aconsegueix combustible aprofitable en diversos equips.

2. Sistema de refrigeració

Cal tenir en compte que es treballa amb una reacció altament exotèrmica, això implica que després de cada corrent que surt dels reactors d'alquilació, cal refredar-lo per a no superar la temperatura crítica del benzè i no tenir temperatures descontrolades al sistema. Per aconseguir un descens de temperatures, s'incorporen bescanviadors de calor de carcassa i tubs on el fluid refrigerant serà l'aigua amb una temperatura d'entrada de 25 ºC.

Aquesta aigua surt a 35 ºC i es porta a la torre de refrigeració per tornar-la a refredar, fins a la temperatura de 25 ºC i reutilitzar-la en el procés.

3. Aprofitament energètic a la planta

S'activa un aprofitament energètic un cop s'ha assolit l'operació en continu de la planta. Per aprofitar millor l'energia del sistema s'utilitzen els corrents freds del procés que és volen escalfar, com per exemple, el corrent d'entrada al procés de benzè que es troba al voltant de 25 ºC. Es pretén escalfar amb els corrents calents de procés que es troben a la sortida dels reactors. Així s'aprofita millor l'energia del procés, ja que s'escalfa l'entrada de benzè i de forma simultània es refreden els corrents de sortida dels reactors d'alquilació. Això suposa un gran avantatge. D'aquesta manera, l'energia subministrada en el cremador serà menor, s'augmenta la temperatura d'entrada del benzè al cremador a 400 ºC i el salt tèrmic que s'exigeix a aquest equip es redueix de forma considerable.

4. Purificació del producte

La purificació del producte consta de dos separadors flash i dues columnes de rectificació. Després de la sortida de l'últim reactor d'alquilació, es mescla amb la sortida del corrent de transalquilació i ambdós corrents van al primer separador. Els separadors tenen com a objectiu principal remoure els components més volàtils no reaccionats del sistema respecte dels altres components. S'eliminen juntament amb l'etapa de purificació del producte.

En el primer separador separa per caps els components més volàtils no reaccionats en el reactor d'alquilació, que són el metà i età, i per cues la resta de components, que són l'etilbenzè, dietilbenzè, toluè, propilè, benzè, etilè i toluè. A la ***Taula 1.7.*** es mostren les composicions molars dels components que surten per caps i cues del primer separador.

Taula 1.7. Component i composicions per caps i cues del separador CF-301

Component	Caps	Cues
Metà	0,29	0,0030
Età	0,44	0,0118
Etilè	0,03	0,0007
Benzè	0,23	0,9800
Etilbenzè	-	0,0003
Dietilbenzè	-	-
Propilè	0,01	0,0005
Toluè	-	-

Tal com es mostra, la separació assolida no és ideal. Per aquest motiu, el corrent de caps del primer separador passa per a una altra columna flash, per acabar d'assolir l'objectiu esmentant anteriorment, la separació del metà i età de la resta de components. Aquests altres components són tractats posteriorment a les torres de rectificació. Per tant, com en el corrent de caps s'obté un 0,23 de benzè

que es vol recuperar, es porta a una segona columna flash per acabar de recuperar el component d'interès. A la ***Taula 1.8.*** es mostren els components que surten per caps i cues de la segona columna flash amb la seva composició.

Taula 1.8. Component i composició per caps i cues del separador CF-302

Component	Caps	Cues
Metà	0,37	0,0042
Età	0,55	0,0214
Etilè	0,04	0,0012
Benzè	0,03	0,9507
Etilbenzè	-	0,0209
Dietilbenzè	-	0,0001
Propilè	0,01	0,0014
Toluè	-	-

Per tant, amb la incorporació d'una segona columna flash s'aconsegueix una recuperació dels productes a purificar per cues i per caps s'obté un cabal de combustible que s'utilitzarà en la mateixa planta com a combustible.

El corrent que passa a les columnes de rectificació és el que surt per cues de la segona columna flash. L'objectiu és separar els reactius per a poder-los recircular cap als reactors pertinents i purificar el producte. A la primera torre de rectificació s'aconsegueix separar el benzè que es recircula a l'inici de procés per a barrejar-lo amb l'entrada de benzè fresc que entra a procés, i la resta de components que surten per cues es passa cap a una segona torre de rectificació. A la ***Taula 1.9.*** es mostra els components que surten per cues i caps de la primera torre de rectificació amb la seva composició molar corresponent.

Taula 1.9. Component i composició per caps i cues de la columna C-401.

Component	Caps	Cues
Metà	-	-
Età	0,01	-
Etilè	-	-
Benzè	0,86	-
Etilbenzè	0,12	0,96
Dietilbenzè	-	0,04
Propilè	-	-
Toluè	-	-

Per tant, tal com es mostra en la ***Taula 1.9.*** s'aconsegueix per caps el benzè amb una petita part de d'età i etilbenzè. Com que la major part del corrent presenta benzè aquest es recircula cap al reactor d'alquilació que no cal purificar, gràcies a que el metà no reacciona. El dietilbenzè es porta al reactor de transalquilació per a produir més etilbenzè.

El corrent de sortida per cues es condueix a la segona torre de rectificació per a separar el dietilbenzè i l'etilbenzè. Cal destacar que en aquesta última etapa de separació el propilè desapareix dels sistema. A la ***Taula 1.10*** es mostra la composició per caps i cues obtinguda a la C-402.

Taula 1.10. Component i composició per caps i cues a la columna C-402.

Component	Caps	Cues
Metà	-	-
Età	-	-
Etilè	-	-
Benzè	-	-
Etilbenzè	1	-
Dietilbenzè	-	1
Propilè	-	-
Toluè	-	-

S'observa que per caps s'obté el dietilbenzè que es recircula cap al reactor de transalquilador i per cues el producte purificat.

1.5.2 Diagrama de blocs

Es presenta el diagrama de blocs del procés en la ***Figura 1.4*** on es mostra de manera generalitzada com es duu a terme el procés.

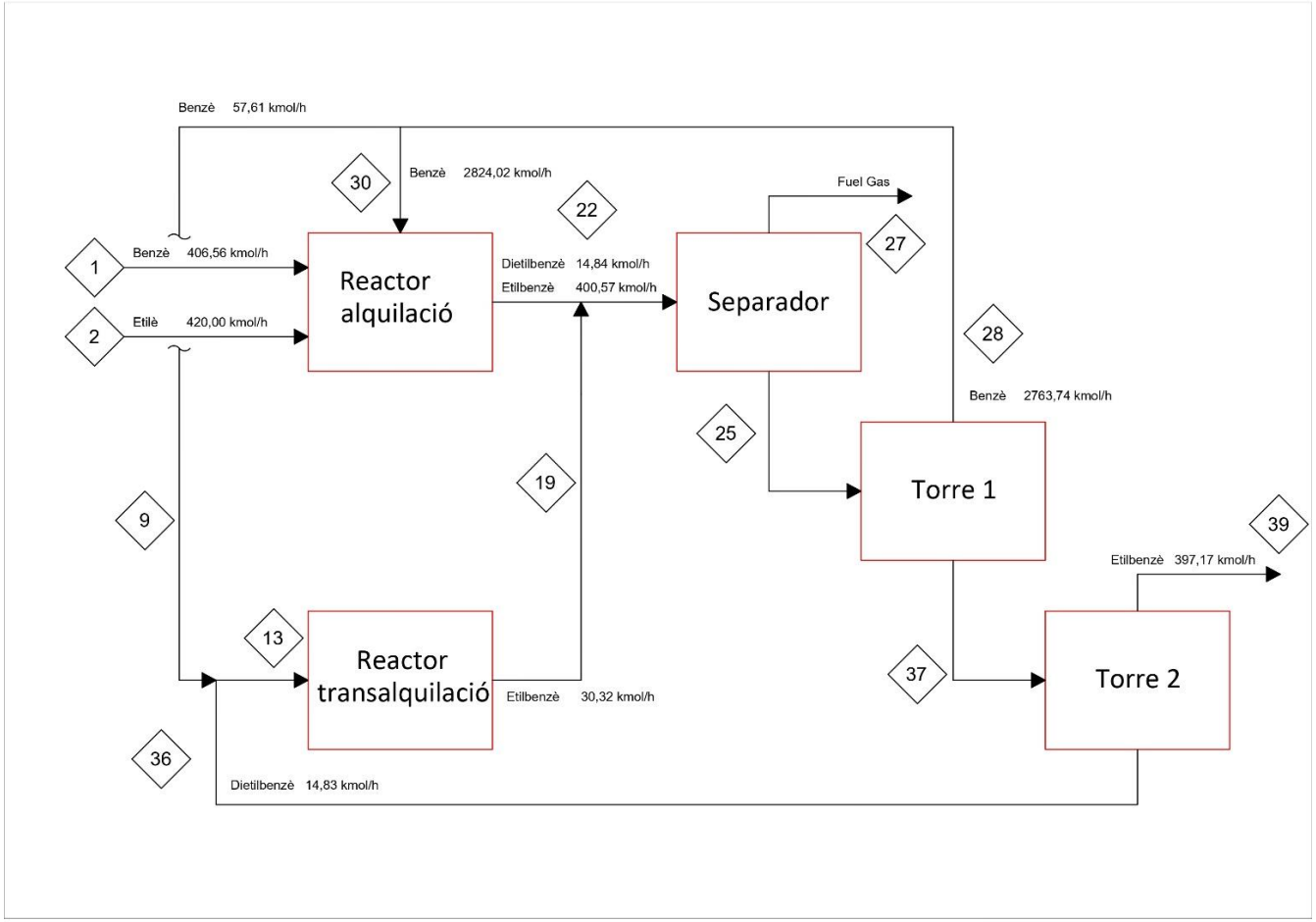

Figura 1.4 Diagrama de blocs del procés.

Cal destacar que en aquest diagrama per a simplificar s'ha unificat la unitat de separació en un únic bloc, ja que tenen el mateix objectiu ambdues: eliminar del sistema els components no reaccionats més volàtils.

1.5.3 Diagrama de procés

Seguidament, es presenta el diagrama de procés de la planta EBYL. Aquest diagrama de flux no es troba tan generalitzat com el diagrama de blocs de la secció anterior. En aquest diagrama es troben tots els equips presents durant la producció i els corrents que hi participen. També s'il·lustren les bombes centrífugues que participen en el procés.

S'inicia el procés amb l'entrada d'ambdós reactius, on el benzè passa pel cremador per al seu escalfament. Cal destacar que en la planta s'ha incorporat un únic cremador muti-corrent, és a dir, en un mateix equip s'escalfen diversos corrents, però s'han il·lustrat dos que correspon al mateix, per a fer més entenedor el flux de corrents. A l'entrada s'incorpora un tanc pulmó que correspon a l'equip TP-201, per barrejar el benzè recuperat i provinent de la columna C-401 i el que entra a procés.

Després de l'àrea de reacció, la matèria que surt d'ambdós reactors passa per les dues columnes flash per a separar els components més volàtils d'on s'obté combustible que es pot reaprofitar a la planta o vendre. Un cop s'ha separat els components volàtils que no reaccionen passa per les torres de rectificació per acabar de purificar el producte i recuperar el benzè i dietilbenzè.

Els equips E-202, E-204 i E-302 es troben duplicats de forma que l'equip duplicat que correspon al E-202 és l'E-201, el duplicat de l'equip E-204 és l'E-203 i el de l'equip E-302 correspon al E-301. Els equips duplicats són els que s'han usat per a l'aprofitament energètic de la planta, és a dir, com s'ha mencionat amb anterioritat, el corrent d'entrada número 4 que es pretén escalfar, s'ha fet passar primer per l'equip E-301. Seguidament, en sortir de l'E-301, el corrent 4 passa per l'equip E-204 i per últim a l'equip E-202. D'aquesta manera s'augmenta la temperatura del benzè de forma considerable reduint les necessitats energètiques del cremador. Per al cremador, cal destacar que s'ha aprofitat una part del combustible que es genera a la planta.

Per a la posada en marxa s'han dissenyat els bescanviadors E-201, E-203 i E-301. Aquests utilitzen aigua com a fluid refrigerant que quan s'activa l'aprofitament energètic estan inactius. S'activen si els equips E-202, E-204 i E-302 pateixen una fallada. Un cop s'assoleix l'operació en continu, s'activen els bescanviadors que empren fluids de procés per a refredar els corrents de sortida dels bescanviadors i augmentar la temperatura del corrent 4.

Aquest diagrama de procés incorpora també els balanços de matèria, propietats físiques i químiques corresponents a cada corrent. D'aquests es pot determinar quines són les conversions al reactor donada la transformació química que es produeix. També es pot caracteritzar els salts tèrmics que s'han d'assolir als bescanviadors de calor. A la ***Figura 1.5*** es mostra el diagrama de flux del procés i a la ***Figura 1.6*** presenta una taula amb els balanços de matèria.

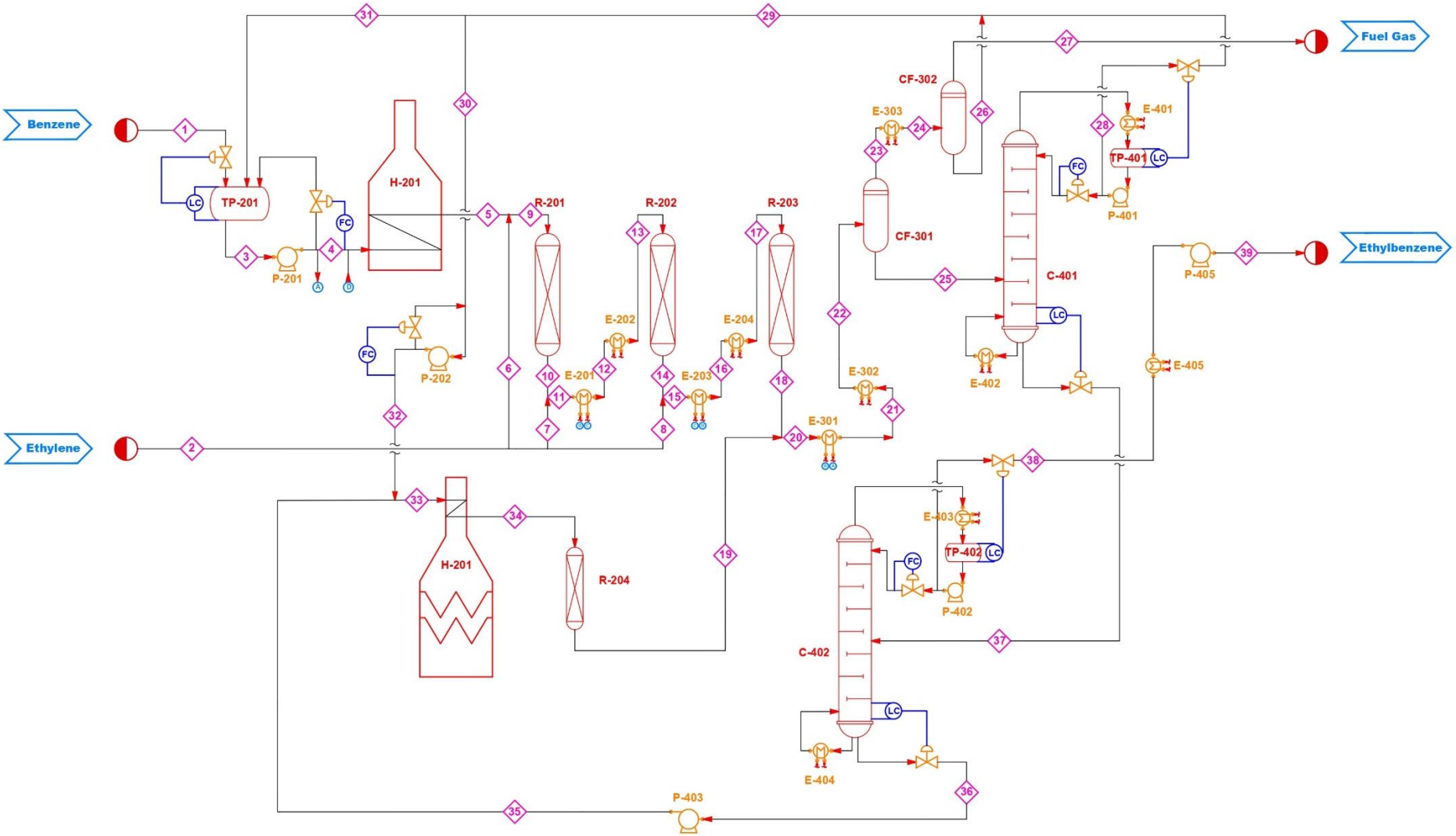

Figura 1.5 Diagrama flux de procés.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Fase Vapor	0,00	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,03	0,03	1,00	0,78
Temperatura (ºC)	25,00	25,00	25,00	25,00	420,00	25,00	25,00	25,00	407,50	428,36	416,17	380,00	380,00	403,34	392,22	380,00	380,00	402,59	502,41	400,98	73,60	73,60	60,38	10,00
Pressió (kPa)	110	3.000	110	3.015	3.000	3.000	3.000	3.000	3.000	2.985	2.985	2.970	2.970	2.955	2.955	2.940	2.940	2.925	1.985	1.985	1.920	1.920	220	220
Cabal molar (kmol/h)	410,00	840,00	3.284,90	3.281,64	3.281,64	279,72	279,72	279,72	3.561,36	3.440,17	3.719,89	3.719,89	3.719,89	3.582,08	3.861,80	3.861,80	3.861,80	3.723,36	73,43	3.796,79	3.796,79	3.796,79	575,26	575,26
Cabal màssic (kg/h)	32.073,43	22.055,42	254.338,3	254.124,9	254.115,3	7.344,45	7.344,45	7.344,45	261.459,8	261.462,1	268.806,5	268.806,5	268.806,5	268.806,8	276.151,3	276.151,3	276.151,3	276.151,6	6.588,50	282.740,1	282.740,1	282.740,1	21.370,39	21.370,39
Cabal volumètric (m³/h)	36,36	61,05	290,53	290,20	290,20	20,33	20,33	20,33	310,53	305,70	326,03	326,03	326,03	320,55	340,88	340,88	340,88	335,37	7,52	342,89	342,89	342,89	43,81	43,81
CABAL MOLAR COMPONENTS (kmol/h)																								
Metà	0,00	168,00	8,70	8,96	8,96	55,94	55,94	55,94	64,82	64,94	120,89	120,89	120,89	120,89	176,83	176,83	176,83	176,83	0,00	176,83	176,83	176,83	168,48	168,48
Età	0,00	252,00	34,96	33,35	33,35	83,92	83,92	83,92	117,17	117,42	201,33	201,33	201,33	201,33	285,25	285,25	285,25	285,25	0,00	285,25	285,25	285,25	252,24	252,24
Etilè	0,00	420,00	2,19	2,25	2,25	139,86	139,86	139,86	142,10	18,82	158,68	158,68	158,68	19,97	159,83	159,83	159,83	21,18	0,00	21,18	21,18	21,18	19,10	19,10
Benzè	406,56	0,00	3.230,58	3.230,22	3.230,22	0,00	0,00	0,00	3.230,15	3.112,33	3.112,33	3.112,33	3.112,33	2.980,34	2.980,34	2.980,34	2.980,34	2.850,51	43,08	2.893,59	2.893,59	2.893,59	129,85	129,85
Etilbenzè	0,00	0,00	3,31	2,33	2,33	0,00	0,00	0,00	2,49	120,65	120,65	120,65	120,65	248,60	248,60	248,60	248,60	370,25	30,32	400,57	400,57	400,57	2,62	2,62
Dietilbenzè	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	1,48	1,48	1,48	1,48	6,41	6,41	6,41	6,41	14,81	0,03	14,84	14,84	14,84	0,01	0,01
Propilè	0,00	0,00	1,65	1,24	1,24	0,00	0,00	0,00	1,07	3,35	3,35	3,35	3,35	4,24	4,24	4,24	4,24	4,46	0,00	4,46	4,46	4,46	2,95	2,95
Toluè	3,44	0,00	3,51	3,27	3,27	0,00	0,00	0,00	3,21	1,18	1,18	1,18	1,18	0,29	0,29	0,29	0,29	0,07	0,00	0,07	0,07	0,07	0,00	0,00

	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Fase Vapor	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura (ºC)	60,38	10,00	10,00	40,00	38,73	45,76	38,73	45,76	99,62	500,00	197,32	197,32	149,77	139,28	40,00
Pressió (kPa)	220	220	220	110	110	110	110	2.000	2.000	2.000	2.000	140	140	110	180
Cabal molar (kmol/h)	3.221,53	124,03	451,23	2.809,54	2.933,57	58,63	2.874,90	58,63	73,43	73,43	14,83	14,83	412,00	397,17	397,17
Cabal màssic (kg/h)	261.369,7	9.587,18	11.783,22	217.213,8	226.800,9	4.532,77	222.264,9	4.532,77	6.588,48	6.588,48	1.990,09	1.990,09	44.155,94	42.165,87	42.165,87
Cabal volumètric (m³/h)	299,09	11,04	32,77	248,32	259,36	5,18	254,17	5,18	7,51	7,51	2,30	2,30	50,77	48,46	48,46
CABAL MOLAR COMPONENTS (kmol/h)															
Metà	8,35	0,53	167,96	8,35	8,88	0,18	8,70	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Età	33,01	2,66	249,58	33,01	35,67	0,71	34,96	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etilè	2,08	0,15	18,95	2,08	2,23	0,04	2,19	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzè	2.763,74	117,91	11,94	2.763,74	2.881,65	57,61	2.824,02	57,61	58,24	58,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etilbenzè	397,96	2,59	0,02	0,79	3,38	0,05	3,31	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	397,17	397,17	397,17
Dietilbenzè	14,83	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	15,19	15,19	14,83	14,83	14,83	0,00	0,00
Propilè	1,50	0,18	2,78	1,50	1,68	0,03	1,65	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Toluè	0,07	0,00	0,00	0,07	0,07	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Figura 1.6 Balanços de matèria.

1.5.3.1 Comprovació global del balanç de matèria

Es comprova el balanç de matèria global amb les entrades i sortides de procés. S'efectua la suma total de matèria que entra i surt, i es fa la diferència entre els dos valors. Aquesta diferència ha d'estar propera a zero per a verificar que tota la matèria que entra al procés surt, això implica que no hi ha pèrdues al sistema i que el disseny entorn d'aquests balanços són correctes.

Els corrents d'entrada corresponen al número 1 i 2 que corresponen a ambdós reactius que arriben a la planta, i els de sortida són el 27 i 39 que correspon al combustible generat i al producte acabat, respectivament. A la ***Taula 1.11*** es mostren quines són les entrades i sortides del procés.

Taula 1.11. Entrades i sortides de matèria del procés.

Corrent	Entrada (kg/h)	Sortida (kg/h)
1	32.073	-
2	22.055	-
27	-	11.783
39	-	42.165
TOTAL	54.128	53.943

La diferència entre el total que entra a procés i el total que surt té un valor de 185 kg/h. Aquesta matèria que es perd al procés és a causa del propilè, ja que s'elimina molt abans d'arribar als corrents de sortida de procés. Per tant, es conclou que es tracta d'un procés en continu i que els cabals d'entrada i sortida es mantenen al voltant d'un mateix valor. Com a resultat, tota la matèria que entra, surt.

1.6 Característiques dels compostos implicats en el procés

1.6.1 Matèries primes

Les dues matèries primeres principals són l'etilè i el benzè. L'etilè vindrà diluït al 50% amb altres productes, el metà amb un 20% i l'età amb un 30%. El benzè tampoc serà pur, ja que entrarà amb un 0,84% de toluè. L'età i el metà no reaccionen però el toluè sí.

1.6.1.1 Etilè

L'etilè és un compost orgànic incolor amb olor dèbil i agradable, format per dos àtoms de carboni enllaçats mitjançant un doble enllaç. La fórmula química de l'etilè és CH2=CH2. És una molècula plana que està formada per quatre enllaços simples, carboni i hidrogen, i un doble enllaç entre carbonis. A la ***Figura 1.7*** es presenta l'estructura de l'etilè.

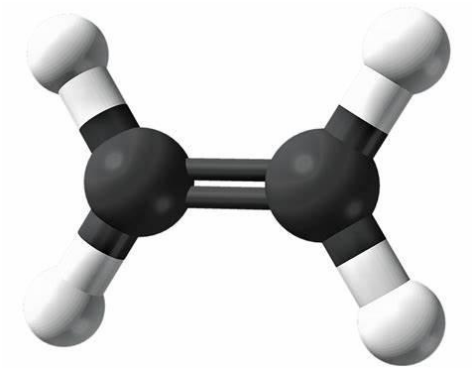

Figura 1.7 Estructura de l'etilè.

Es tracta d'un hidrocarbur gasós que es produeix de manera natural en les plantes, però que també es pot obtenir com a resultat de la combustió.

És un termoplàstic que es caracteritza per ser resistent, flexible i poc dens. Lleugerament soluble en aigua, alcohol i èter. En fase gas és asfixiant i altament inflamable i explosiu. Té un límit d'explosivitat en aire superior al 3% i inferior al 32% en volum [4]. Les seves propietats estan resumides a la ***Taula 1.11.***

Taula 1.12. Propietats del component etilè.

Fórmula molecular	C_2H_4
Densitat (kg/m^3)	1.178
Massa molecular (g/mol)	28.05
Punt de fusió (K)	103.8
Punt d'ebullició (K)	169.3

1.6.1.2 Benzè

El benzè és un hidrocarbur aromàtic líquid, volàtil, transparent i inflamable amb un aroma molt característic, ja que és semblant al de la benzina o a la pega.

La seva fórmula química és C_6H_6. Els àtoms es troben en una relació 1 a 1, és a dir, que per cada hidrogen hi ha un carboni enllaçat. S'obté naturalment del petroli i també dels productes derivats d'aquest. A la ***Figura 1.8*** es mostra l'estructura del benzè.

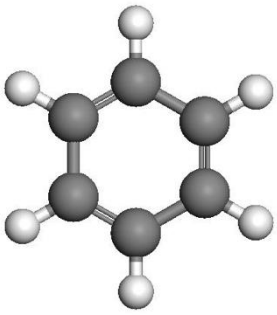

Figura 1.8 Estructura molecular del benzè

Les seves propietats es troben resumides a la ***Taula 1.13*** [6].

Taula 1.13. Propietats del component benzè.

Fórmula molecular	C_6H_6
Densitat (kg/m3)	873.8
Massa molecular (g/mol)	78.114
Punt de fusió (K)	278.5
Punt d'ebullició (K)	353

1.6.2 Catalitzador

El catalitzador és el punt clau a l'hora de decidir el procés que es realitzarà. En aquest cas serà la zeolita ZSM-5. En la producció d'etilbenzè es contempla l'ús d'altres tipus de catalitzador com la zeolita Y, la zeolita B i inclús la zeolita MCM-22. La decisió de fer servir la ZSM-5 no ha sigut a l'atzar. A diferència de les altres tres zeolites, aquesta presenta una estructura porosa de grau mitjà, l'adequada per a processos en fase vapor. En fase líquida la seva resistència a la difusió de transferència de massa és molt forta i caldrien zeolites amb una mida de porus més gran.

1.6.3 Subproducte

1.6.3.1 Propilè

El propilè és un hidrocarbur que a temperatura ambient i a pressió atmosfèrica es troba en estat gasós. És incolor i té una olor semblant al petroli, però de menor intensitat comparada amb el benzè.

La seva molècula és asimètrica, causada pel dipol que presenta. A la ***Figura 1.9*** es mostra l'estructura molecular del propilè.

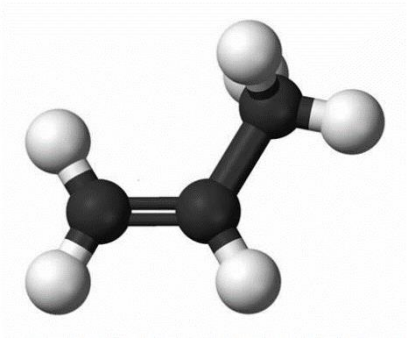

Figura 1.9 Estructura molecular del propilè

Es presenta en la natura a conseqüència dels processos de vegetació i fermentació. També es pot obtenir de manera artificial durant la producció de combustibles fòssils com el petroli o el gas natural entre altres.

A baixes concentracions forma una mescla explosiva i inflamable amb l'aire. Es transporta en forma de gas liquat. Les seves propietats estan resumides a la ***Taula 1.14*** [5].

Taula 1.14. Propietats del component propilè.

Fórmula molecular	C_3H_6
Densitat (kg/m^3)	1.74
Massa molecular (g/mol)	42.1
Punt de fusió (K)	87.7
Punt d'ebullició (K)	225

1.6.3.2 Dietilbenzè

El dietilbenzè és un derivat del benzè per substitució de dos àtoms d'hidrogen amb dos radicals d'etilè. Existeixen tres isòmers, tots tres líquids incolors i insolubles en aigua, però solubles en dissolvents orgànics. A la ***Figura 1.10*** es mostra l'estructura del dietilbenzè.

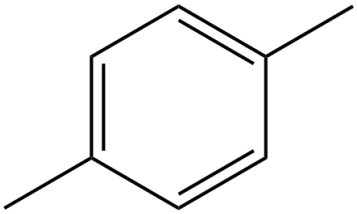

Figura 1.10 Estructura del dietilbenzè.

La seva obtenció és similar a la del benzè, a partir de petroli. Les seves propietats estan resumides a la ***Taula 1.15*** [7].

Taula 1.15. Propietats del component dietilbenzè.

Fórmula molecular	$C_{10}H_{14}$
Densitat (kg/m^3)	862,3
Massa molecular (g/mol)	134.22
Punt de fusió (K)	230
Punt d'ebullició (K)	457

1.6.4 Producte d'interès

L'etilbenzè és un compost orgànic que es troba en petites quantitats a l'aire, l'aigua i el terra, tot i que també està present al petroli. És un líquid inflamable i incolor que presenta una olor similar a la benzina. És una substància no polar, en forma gasosa. Es barreja bé amb l'aire, formant mescles explosives. A la ***Figura 1.11*** es mostra l'estructura de l'etilbenzè.

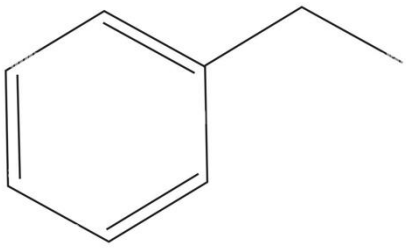

Figura 1.11 Estructura molecular de l'etilbenzè

Les seves propietats estan resumides a la ***Taula 1.16.***

Taula 1.16. Propietats del component etilbenzè.

Fórmula molecular	C_8H_{10}
Densitat (kg/m^3)	866.5
Massa molecular (g/mol)	106.17
Punt de fusió (K)	103.8
Punt d'ebullició (K)	409.2

1.7 Especificacions i necessitats de serveis

Perquè la planta EBYL funcioni correctament, es requereix una sèrie de serveis. Aquests s'expliquen a continuació.

1.7.1 Aigua

En relació amb l'aigua, s'emplenen diferents tipus d'aigua de serveis en la planta EBYL.

1.7.1.1 Aigua de xarxa

L'aigua de xarxa s'obtindrà externament a través d'una empresa proveïdora local. S'utilitza per a diferents funcions, entre ells per als laboratoris I+D, vestuaris i sanitaris dels treballadors, etc. Donat que aquesta aigua no és potable caldrà senyalitzar-ho.

Principalment, s'utilitza per a l'aigua de refrigeració. En ser un circuit tancat caldrà renovar-la cada cert temps. També es fa servir com a subministrament contra incendis, per a la producció de vapor i inclús per al rec de les zones verdes de la parcel·la.

Aquesta aigua serà distribuïda a partir d'una xarxa de canonades per arribar a totes les instal·lacions de la planta. El requisit d'aigua de consum es determina amb les necessitats dels equips i altres instal·lacions.

1.7.1.2 Aigua potable

Donat que l'aigua de xarxa no és potable, es disposarà per al servei personal dels treballadors, màquines dispensadores que proporcionin aigua potable en diferents punts de la planta i així poder hidratar a tots els treballadors, en cas que ho necessitin.

1.7.1.3 Aigua contra incendis

L'aigua contra incendis és un element clau per a garantir la seguretat de la planta, ja que en cas d'incendi és necessària per extingir-lo.

S'emprarà l'aigua de xarxa, però s'haurà de passar un tractament descalcificador per evitar que es formin incrustacions en la xarxa contra incendis. Posteriorment, serà emmagatzemada en una bassa, que estarà dissenyada segons la normativa i protocol vigent per a l'extinció d'incendis.

Per assegurar que l'aigua faci front al foc el més ràpid possible, es farà ús d'una bomba per augmentar la pressió de sortida de la bassa i així que es dirigeixi a la part de la planta on s'estigui produint l'incendi.

1.7.1.4 Aigua desionitzada

L'aigua desionitzada de nou és aigua de xarxa, però a la qual se li ha de realitzar un tractament per extreure-li cations com el sodi, el calci, el ferro, el clor, entre altres. A partir d'un procés de bescanvi iònic [9]. Aquesta aigua no forma incrustacions i, per tant, és idònia per a la neteja d'equips.

1.7.1.5 Aigua descalcificada

L'aigua descalcificada també prové de l'aigua de xarxa, i una vegada més s'haurà de tractar. Per fer-ho es farà servir un descalcificador amb el qual s'eliminen els ions de calci i magnesi i se substitueixen per uns de sodi.

En el procés, aquesta aigua és important, ja que a l'estar tractada, evitarà incrustacions en el sistema de canonades i augmentarà la vida útil de les instal·lacions en general.

1.7.1.6 Aigua de refrigeració

L'aigua de refrigeració es pot refredar tant en un equip chiller com en una torre de refrigeració.

És important mantenir la temperatura controlada, ja que com s'ha mencionat prèviament a ***l'Apartat 1.3.4.1,*** la temperatura varia segons l'estació de l'any i, independentment de la temperatura ambient, caldrà que aquesta sigui la requerida en qualsevol punt del procés.

La diferència entre la torre de refrigeració i el chiller és el mode d'operació. Es poden utilitzar de forma independent o en combinació per a obtenir una refrigeració eficient a gran escala.

A la planta hi ha diferents bescanviadors de calor que treballaran amb aigua de refrigeració. A més a més, els reactors tindran un encamisat per seguretat, per mantenir la reacció exotèrmica sota control.

L'aigua que surt dels bescanviadors de calor surt a una temperatura superior a la funcional per al següent bescanviador. Per aquest motiu, s'haurà de refrigerar en la torre de refrigeració. Cal tenir en compte que hi haurà aigua que s'evaporarà i que, per tant, caldrà reomplir el circuit refrigerant per tal de mantenir la continuïtat del procés.

L'aigua de refrigeració també ve de la xarxa. Aquesta, com que no està tractada, pot agilitzar la possible aparició d'incrustacions en les parets de la torre, que poden danyar l'equip i reduir la seva vida útil. A part de danyar la torre, també pot reduir la productivitat del bescanviador de calor. Per a això l'aigua de refrigeració serà aigua descalcificada.

A la planta EBYL, els equips que requereixen aigua refrigerant són l'E-202, l'E-204 i l'E-302, però només durant la posada en marxa i, es desactiven quan s'opera amb aprofitament energètic, és a dir, en operació normal. Per als condensadors de la torre, E-401 i E-403, i el bescanviador situat a la sortida de procés, E-405, operen amb aigua en la posada en marxa i en operació normal. L'únic equip que requereix aigua de chiller és l'E-303, que és un condensador situat entremig de les columnes flash. A la ***Taula 1.17*** es recopilen les necessitats d'aigua provinent de la torre de refrigeració.

Taula 1.17. Necessitats d'aigua en la posada en marxa.

Equip	Temperatura entrada (ºC)	Caudal (kg/h)
E-202	25	532.201
E-204	25	184.611
E-302	25	4.483.080
E-401	25	3.365.049
E-403	25	566.823
E-405	25	472.282
TOTAL	25	9.604.046

Quan la planta està operant amb aprofitament energètic, és a dir, en operació normal, els bescanviadors E-202, E-204 i E-302 es troben inactius. Aquests s'activen únicament si els bescanviadors que utilitzen el corrent de procés pateixen una falla en operació normal. Per tant, les necessitats d'aigua a la planta es redueixen significativament. A la ***Taula 1.18*** es mostra quines són les necessitats d'aigua en operació normal.

Taula 1.18. Necessitats d'aigua en l'aprofitament energètic.

Equip	Temperatura aigua (°C)	Consum aigua en operació normal (kg/h)
E-401	25	3.365.049
E-403	25	566.823
E-405	25	472.282
Total	**25**	**4.404.154**

1.7.2 Electricitat

L'electricitat serà subministrada a la planta EBYL a partir d'una empresa externa. Com s'ha mencionat anteriorment a l'***Apartat 1.3.3,*** hi haurà una connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la i caldrà preveure una estació transformadora. L'estació transformadora també estarà a peu de terra i com indica el nom, convertirà l'energia proporcionada per la xarxa comuna, a la requerida per la planta.

L'electricitat és un servei imprescindible, es fan servir altes potències per a les bombes i compressors i també per a la refrigeració de l'aigua, i així garantir una temperatura adequada perquè el procés es realitzi en continu. Aquest servei és molt important, sense ell no hi hauria llum i, a conseqüència, no hi haurà cap sistema de seguretat actiu, ni de control. Tampoc funcionarien les bombes ni compressors.

L'energia elèctrica és necessària per al funcionament de molts dels aparells i sistemes, aleshores, en el cas que es produeixi una fallada en el subministrament, com una sobretensió o es detecti una

inestabilitat en la freqüència, caldrà disposar d'un grup electrogen i un SAI connectat al sistema elèctric de la planta.

El grup electrogen és un suport per a la font principal d'energia. Un dispositiu autònom capaç de produir electricitat, constituït per a un motor tèrmic accionat per un alternador. La seva funció és convertir la capacitat calorífica de la combustió interna en energia mecànica i posteriorment energia elèctrica. El gas natural farà funcionar aquest aparell [10].

El SAI és un sistema d'alimentació ininterrompuda, un dispositiu que està connectat als equips i que garanteix que si hi ha una fallada en el subministrament energètic, no hi hagi un problema en la seguretat de la planta i que el procés pugui continuar [11]. Per tant, és important sobredimensionar l'equip i tenir reserva d'energia com a mesura de seguretat.

1.7.3 Líquid de refrigeració

Per a poder refredar l'aigua del chiller, a temperatures molt baixes, es requereix un líquid de refrigeració. A l'equip E-303, el corrent de procés passa d'una temperatura de 60 a 10 ºC, i el fluid refrigerant, té un salt tèrmic de -40 ºC a -10 ºC. Aquest fluid refrigerant prové d'un chiller que per a obtenir la temperatura a -40 ºC s'utilitza un fluid auxiliar que és el líquid de refrigeració.

El chiller és un equip que refrigera el líquid a través d'un sistema d'aire condicionat, l'aire és usat per no tenir aigua congelada en la refrigeració del fluid [13]. Fa servir un sistema d'expansió directa amb dos cicles, un de refrigeració i una altra etapa d'evaporació. En l'etapa d'evaporació el fluid refrigerant absorbeix la calor del fluid que es troba a alta temperatura. D'aquesta manera s'absorbeix la calor i s'aconsegueix el fluid refrigerant.

Per a la posada en marxa i en condicions d'operació normals, les necessitats de líquid refrigerant per l'equip E-303 són sempre les mateixes, ja que l'entrada i sortida del bescanviador no s'empra per a dur a terme un aprofitament energètic. A la ***Taula 1.19*** es mostren les necessitats d'aigua refrigerant.

Taula 1.19. Necessitats d'aigua refrigerant.

Equip	Temperatura entrada (ºC)	Caudal (kg/h)
Bescanviador E-303	-40	33.306

1.7.4 Aire comprimit

L'aire comprimit s'utilitza com a font d'energia per l'accionament de les vàlvules pneumàtiques de control de la planta, que s'activaran en la posada en marxa. Aquestes reben un senyal des de control que indica que és necessari que s'obrin.

Caldrà filtrar l'aire de les partícules i impureses de l'ambient. A més a més de remoure tota la humitat que porta abans que sigui utilitzat. Estarà emmagatzemat a pressió gràcies a compressors.

1.7.5 Vapor d'aigua

El vapor d'aigua es genera en escalfar aigua de xarxa en una caldera de vapor i s'empra en bescanviadors per escalfar la mescla. Aquest vapor permet escalfar a temperatures superiors a les de l'aigua líquida, a 100 ºC. L'aigua de xarxa passarà per un procés de desionització, per tal de garantir una major vida útil.

Els equips de la planta EBYL que requereixen vapor d'aigua són els reboilers que es troben situats a les columnes de rectificació. Són l'equip E-402, per a la columna C-401 i l'equip E-404, per a la columna C-402. Necessiten vapor d'aigua per a evaporar el líquid que surt per cues i retornar-ho a la columna. En aquest cas el consum de vapor d'aigua en la posada en marxa i en operació normal és la mateixa. A la ***Taula 1.20*** es mostra el consum per a ambdós equips.

Taula 1.20. Necessitats de vapor d'aigua.

Equip	Temperatura entrada (ºC)	Caudal (kg/h)
Reboiler E-402	300	772.614
Reboiler E-404	300	106.293
TOTAL	300	878.907

1.7.6 Gas natural

Aquest servei també està subministrat per una empresa externa i, com s'ha mencionat a ***l'Apartat 1.3.3,*** hi haurà una connexió a peu de parcel·la a mitja pressió que alimentarà la planta amb una quantitat d'1,5 kg/cm^2 .

El gas natural s'utilitzarà per al funcionament i posada en marxa de la caldera i del grup electrogen. A més a més de proporcionar aigua calenta en els vestuaris del personal.

En la planta EBYL, els equips que consumeixen gas natural són el H-201 i la CV-601. Aquests tenen dos consums diferents, un per a la posada en marxa i l'altre en operació normal, que és quan sí està activat l'aprofitament energètic. En la posada en marxa el combustible generat a la planta que és d'11.783,33 kg/h no és suficient per a subministrar als dos equips, s'ha de comprar un total extra extern de 1.895,8 kg/h. I per a operació normal, el combustible generat és suficient per a cobrir les necessitats d'ambdós equips. A la ***Taula 1.21*** es mostra el combustible que necessiten els equips en totes dues situacions.

Taula 1.21. Consum de combustible en operació normal i posada en marxa.

Equip	Consum fuel gas total (kg/h)	Consum fuel gas en operació normal (kg)
H-201	9.196,7	1.862,6
CV-600	4.482	4.482
Total	**13.679**	**6.344,6**

1.7.7 Nitrogen

El nitrogen s'utilitza com un agent inertitzador per separar productes sensibles i processos de l'aire, també s'utilitza com un agent que evita la contaminació en canonades i equips. El consum de nitrogen a la planta és de 3,7 Tn/any. Es fa servir a la planta per a la intertització dels tancs d'emmagatzematge i tancs pulmó.

1.8 Constitució de la planta

En aquesta secció es presenta la distribució d'àrees a la parcel·la. A la ***Figura 1.12*** es mostra una distribució esquemàtica de la parcel·la.

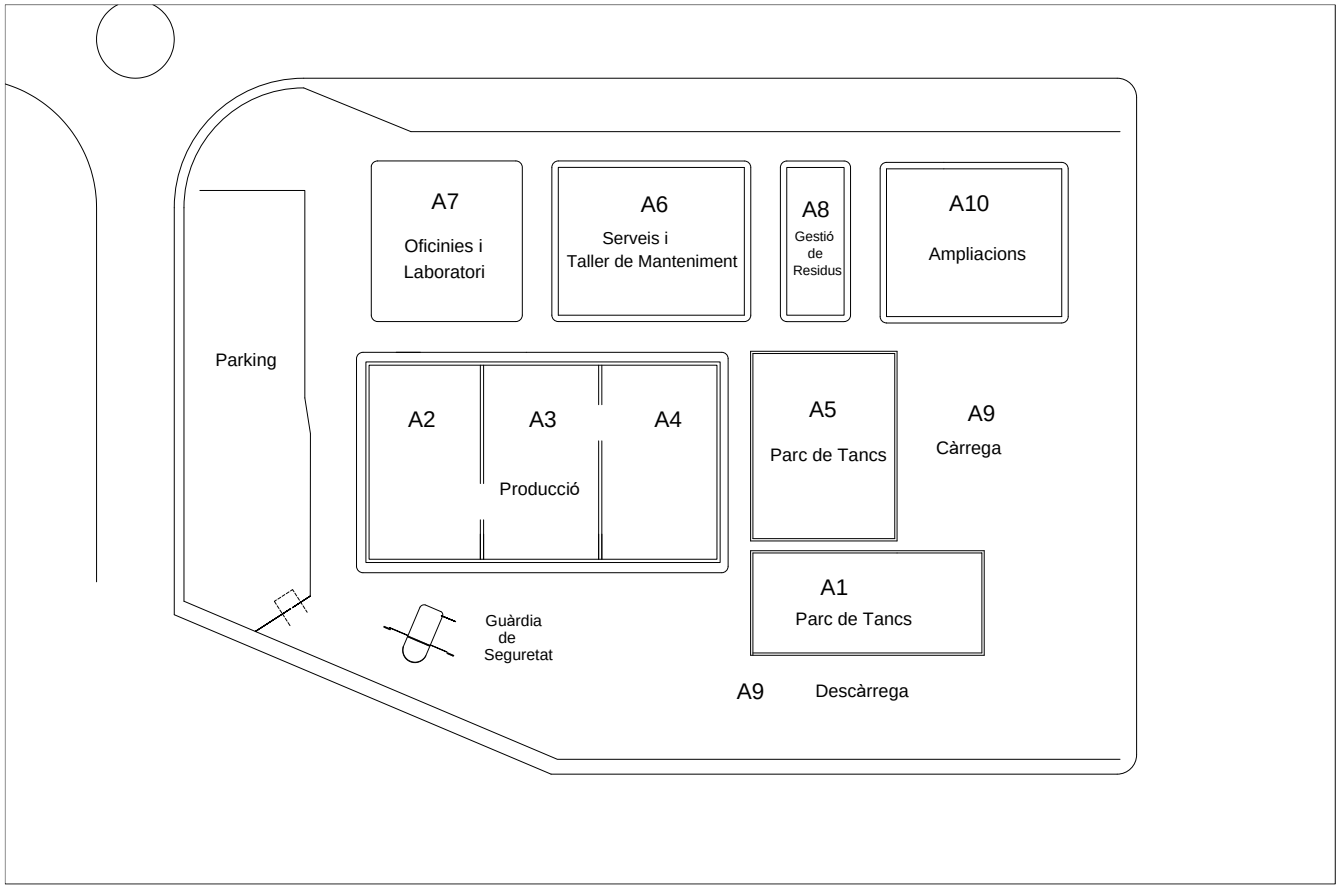

Figura 1.12 Distribució d'àrees a la parcel·la.

.

S'han dividit diverses àrees segons l'activitat que es realitzen en cadascuna d'elles. Es distingeixen un total de 10 àrees que es presenten en la ***Taula 1.22.***

Taula 1.22. Àrea i descripció corresponent.

Àrea	Descripció
A-100	Emmagatzematge dels reactius
A-200	Reacció
A-300	Zona de separació
A-400	Torres de rectificació
A-500	Emmagatzematge del producte
A-600	Serveis i taller de manteniment
A-700	Oficines i laboratoris
A-800	Tractament de gasos, sòlids i líquids
A-900	Càrrega i descàrrega
A-1000	Zona d'ampliació

1.8.1 Àrea-100: Emmagatzematge dels reactius

Es tracta de l'àrea que es troba de forma contigua a la de descàrrega, quan el benzè arriba a la planta. Aquest s'emmagatzema a l'àrea A-100, d'aquesta forma es té una bona connexió entre ambdues àrees i es facilita l'emmagatzematge un cop s'ha descarregat el reactiu. Cal tenir present que el tipus de reactius que arriben a la planta són inflamables, per tant, els criteris d'emmagatzematge venen definits per l'APQ més restrictiva, que en aquest cas és la ITC-MIE-APQ1. Els tancs es troben disposats en cubetes de retenció per a evitar fuites o vessaments, s'utilitzen per prevenir una explosió o incendi. El material que s'ha emprat és l'acer 316L. Els tancs també s'internitzen prèviament amb nitrogen per evitar que el benzè estigui en contacte amb humitat, oxidació o substàncies nocives [12].

Hi ha un total de 14 tancs, els quals corresponen a l'emmagatzematge del benzè. L'etilè no s'emmagatzema, ja que prové de canonada i passa per una vàlvula d'expansió abans d'entrar a procés. Aquesta zona s'ha situat molt propera a la zona de reacció per a facilitar el subministrament de matèries primeres al primer reactor d'alquilació R-201.

1.8.2 Àrea-200: Reacció

En aquesta àrea es concentren els tres reactors d'alquilació i el transalquilador. Els reactors d'alquilació són tres en sèrie i un sol per al de transalquilació. Aquests reactors són de llit fix monotubulars i encamisats, per a tenir un control de la temperatura a causa de la reacció tan exotèrmica.

Prèviament, l'entrada dels reactius que hi entren a l'etapa de reacció són escalfats per un cremador per assolir la temperatura de reacció necessària, també s'inclouen els compressors per incrementar la pressió dels fluids.

També s'incorpora el sistema de refrigeració, explicat prèviament, per a controlar la temperatura de la reacció altament exotèrmica de l'etapa d'alquilació i, mantenir la temperatura per tal de no arribar a la crítica que presenta el benzè per a la posada en marxa. Un cop assolida l'operació en continu, alguns bescanviadors es desactiven i s'opera amb l'aprofitament energètic.

1.8.3 Àrea-300: Zona de separació

Un cop es comença a obtenir etilbenzè es porta primer a la zona de separació, que inclou els equips CF-301 i CF-302. L'objectiu d'incloure aquests separadors és poder separar el metà i età no reaccionats en l'àrea 200 de la resta de components, que seran portats a l'àrea 400. En aquesta zona s'assoleix per caps de forma majoritària el metà i età amb petites impureses d'altres components. Aquest cabal és utilitzat com a combustible per al cremador que es troba a l'àrea 200. La resta de components passen a l'àrea 400 per a poder recuperar el benzè i dietilbenzè. Aquests dos són recirculats en la mateixa planta, per poder aconseguir el producte amb una puresa de 99,5%.

1.8.4 Àrea-400: Torres de rectificació

L'objectiu d'aquestes torres és acabar de purificar el producte i recuperar la resta de components, que serien els reactius per aprofitar-los a la planta. Es pretén separar l'etilbenzè, per una banda, per al seu posterior emmagatzematge i, el dietibenzè i benzè restant, per altra banda, per a aprofitar-los. En la columna C-401 entren l'età, benzè, etilbenzè i dietilbenzè amb les condicions de temperatura i pressió adequades. S'obté per cues l'etilbenzè i dietilbenzè que són enviats a la segona columna C-402. Per caps de la C-401, es recupera l'età, benzè i una petita part d'etilbenzè. Aquests components que es recuperen, es porten al tanc pulmó TP-201 per a la mescla amb l'entrada de benzè de procés i entrar a l'àrea 200. Es porten al TP-201, ja que la quantitat més gran recuperada és el benzè que es troba en una composició del 98%.

Els components que surten per caps de la torre C-401 es porten a la següent torre, la C-402, amb l'objectiu d'obtenir un producte purificat, és a dir, se separa l'etilbenzè que surt per caps del dietilbenzè que surt per cues. El dietilbenzè que surt per cues es porta al transalquilador per a produir més producte.

Per als condensadors i reboilers d'ambdues columnes s'incorporen tancs pulmó internitzats amb nitrogen.

En aquesta àrea es destaquen un total de quatre bombes per a subministrar pressió al fluid. Així s'aporta energia per permetre la circulació dels corrents i tenir un procés continu sense cap problema.

1.8.5 Àrea-500: Emmagatzematge del producte

Un cop es comença a obtenir producte, una part s'envia per canonada a la planta més propera per a produir estirè i, una altra part s'emmagatzema en tancs. El parc de tancs per l'emmagatzematge d'etilbenzè ocupa 3.503,7 m^2, format per un total de 18 tancs. Es tracta d'una substància inflamable, per tant, la normativa que cal seguir és la ITC-MIE-APQ1. Tant per l'emmagatzematge dels reactius com de producte els tancs, es troben protegits amb cubetes de retenció per garantir una major seguretat. Tots són inertitzats amb nitrogen.

Aquesta àrea es torba contigua a l'àrea de càrrega, ja que faciliten la càrrega dels camions per a la recollida del producte i, també es troba propera de l'àrea de producció, per a facilitar l'emmagatzematge un cop es comença a produir etilbenzè.

1.8.6 Àrea-600: Serveis i taller

En aquesta àrea es troben els serveis necessaris i la zona del taller de manteniment, juntament amb un magatzem de peces, accessoris i altres materials. En aquesta secció, s'inclou un Chiller per a l'equip E-303 situat entre les dues columnes flash i una caldera per aportar energia als reboilers de les columnes C-401 i C-402, donat cal subministrar vapor d'aigua a 300 ºC.

S'incorpora també un descalcificador per a un tractament previ de les aigües de refrigeració dels bescanviadors i per al condensador de la columna C-402. L'objectiu d'incloure un descalcificador és dona al fet que s'ha d'eliminar sals i minerals que conté l'aigua per a evitar un malbaratament dels materials, la formació d'incrustacions i la corrosió. Aquesta aigua descalcificada es porta a una torre de refrigeració per assolir les necessitats energètiques requerides pel procés.

Per a un major control dels cabals de la planta són necessàries les vàlvules pneumàtiques a les quals s'ha de subministrar aire comprimit. Per aquest motiu, es disposa de dos compressors, un per a les vàlvules esmentades i un altre per aportar aire al cremador i oxidador tèrmic de l'àrea 800.

L'electricitat que se subministra a la planta ve generada per l'estació transformadora i el grup electrogen. Quan hi ha pèrdues de potència als equips crítics de la planta, és a dir, no s'està subministrant l'energia necessària per a un correcte funcionament, s'activa el grup electrogen. Aquest grup aporta corrent als equips crítics de la planta perquè puguin continuar la seva operació en cas de parada.

Per últim, es disposa d'un taller per a fer les reparacions necessàries dels equips, de peces de qualsevol mena o canonades. També hi trobem un petit emmagatzematge de vàlvules, brides i resta d'accessoris per si cal canviar-les a la planta.

1.8.7 Àrea-700: Oficines i laboratoris

S'inclouen oficines per a dur a terme tota la gestió burocràtica de la planta, com per exemple, les autoritzacions per a l'entrada i sortida dels camions, sigui de càrrega o descàrrega.

Els laboratoris s'incorporen per fer anàlisis dels corrents de producció del producte i de tractament de gasos, sòlids i líquids per assegurar que està tot en correcte funcionament.

1.8.8 Àrea-800: Tractament de gasos, sòlids i líquids

Al llarg del procés productiu es generen residus tant gasosos com sòlids i 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 de COV's que es poden generar i, sobretot, els gasos de venteig provinents dels tancs d'emmagatzematge, es porten a un oxidador tèrmic per tal de degradar-los. 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 i la matèria sòlida es porten a gestió externa.

1.8.9 Àrea-900: Càrrega i descàrrega

Hi ha una zona de càrrega i descàrrega contigües a la zona de producció, on hi arriba l'etilè per canonada i on es produeix l'obtenció del producte final.

1.8.10 Àrea 1000: Ampliacions

Aquesta zona està destinada a possibles millores de la producció. Així es pretén augmentar l'eficiència del procés, reduir costos energètics, aprofitar l'energia que es produeix a la planta i altres propostes que puguin sorgir, per tenir una millora en l'operació i un benefici per a l'empresa.

1.9 Aplicació del producte

La major part d'etilbenzè que es produeix en la indústria és emprat per a produir estirè. L'estirè és usat per a produir plàstic i, és per això que l'etilbenzè entra en la categoria dels *Bulk Organic Chemicals*. La producció de plàstic en l'àmbit mundial és dut a terme a elevades produccions i, per tant, cal produir l'etilbenzè a gran escala industrialment.

També es pot destacar que és emprat per a produir pintura en la indústria com a dissolvent. La resta va destinada a la producció d'acetofenones, dietilbenzè i etilantraquinona, que són compostos orgànics.

1.10 Planificació temporal

En tots els projectes és necessària una planificació temporal de totes les tasques a realitzar amb la durada de cadascuna d'elles, per així determinar la durada total del projecte. Aquesta planificació es duu a terme a partir d'un *Diagrama de Gantt*. Un *Diagrama de Gantt* permet planificar les tasques a realitzar d'un projecte, saber quines són les tasques critiques, és a dir, aquelles en les que no s'arribin a realitzar en el temps programat poden allargar el projecte. A la ***Taula 1.23*** es recopilen les tasques amb la durada i la precedència.

Taula 1.23. Tasques a realitzar amb la durada i procedència corresponent.

Numero de tasca	Tasca	Duració	Procedència
1	Enginyeria del detall	120	-
2	Obtenció de llicències	150	-
3	Demanda d'equips	150	1
4	Neteja del terreny	50	2
5	Excavacions i cimentació	40	4
6	Instal·lació de subministres	40	5
7	Aceres i vials	50	5
8	Aparcament	10	5
9	Edificació àrea 700	120	6
10	Instal·lació suports, portes i escales	35	6
11	Instal·lació canonades	30	9
12	Instal·lació instrumentació canonades	60	11

Numero de tasca	Tasca	Duració	Procedència
13	Àrea 100	50	6
14	Àrea 200	120	6
15	Àrea 300 i 400	120	6
16	Àrea 500	60	14
17	Àrea 600 i 900	90	15
18	Àrea 800	70	15
19	Àrea 1000	40	18
20	Instal·lació del sistema elèctric	45	9
21	Connexió del sistema elèctric	30	20,9
22	Instal·lació instrumentació control	40	14
23	Connexió instrumentació	40	22,13
24	Calibratge d'equips	30	24
25	Aïllament d'equips	30	24
26	Aïllament canonades	30	21
27	Assaig d'equips	30	22
28	Pintura	30	25
29	Neteja	30	26

Per a la representació del diagrama s'utilitza el programa ProjectLibre, la durada total del projecte és de dos anys i 19 dies. El projecte comença el dia vuit de juny del 2023 i acaba el 25 de juny del 2025. Les tasques que es troben marcades de color vermell són les crítiques, aquelles en les quals no s'arriben al temps estimat, poden allargar el projecte. A la ***Figura 1.13*** es mostra el diagrama de Gantt.

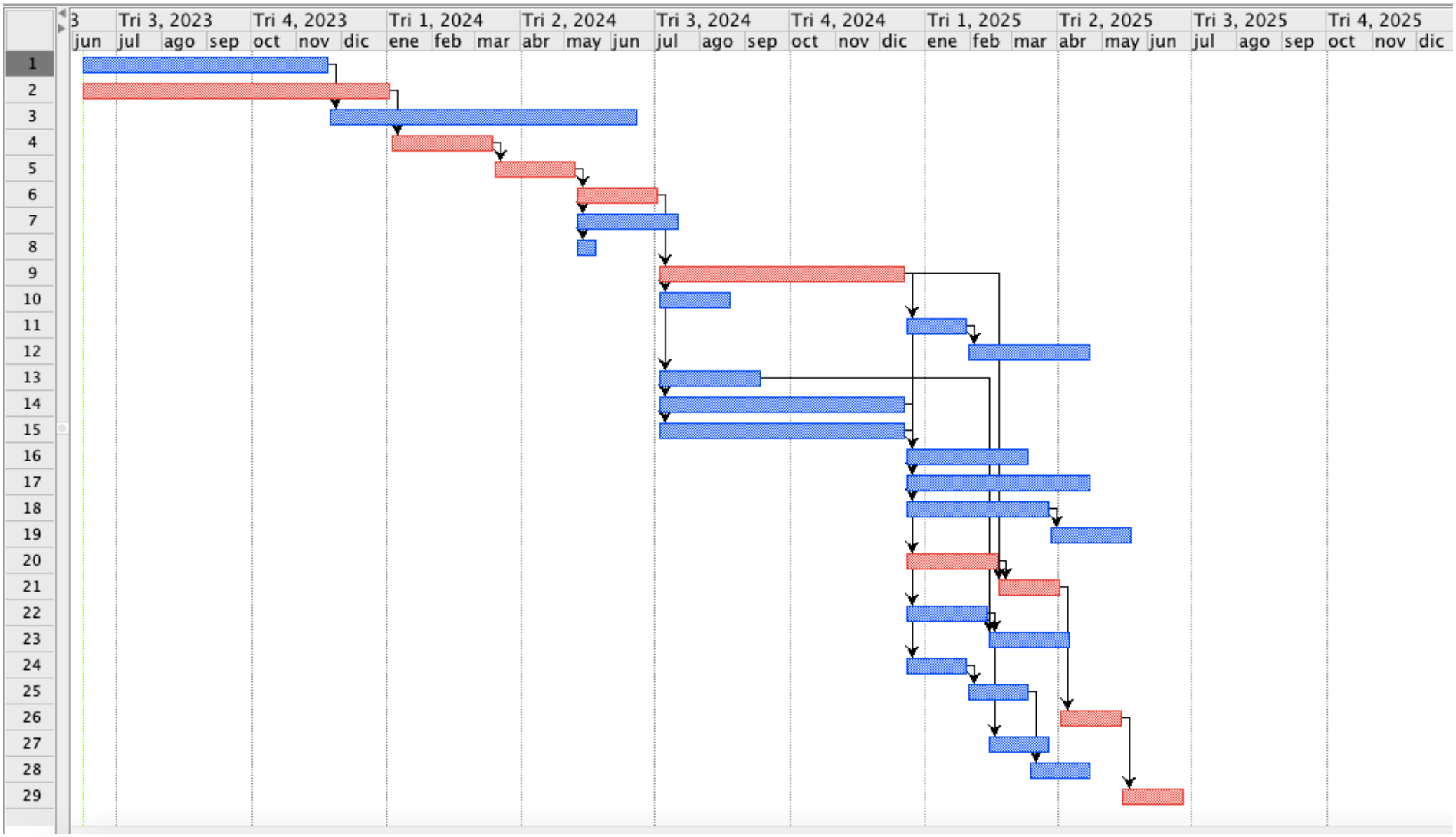

Figura 1.13. Diagrama de Gantt.

1.11 Bibliografia

[1] Clima la Canonja: Temperatura, Climograma y Temperatura del agua de la Canonja - Climate-Data.org. (s. f.). https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/la-canonja-493470/

[2] Hamid Ganji, Jafar S. Ahari, Amir Farshi, Majid Kakavand, (2004), *Modelling and Simulation Of Benzene Alkylation Process Reactors For Production Of Ethylbenzene*, https://www.vurup.sk/wp-content/uploads/dlm_uploads/2017/07/pc_ganji.pdf

[3] Chauvin, Y. and Olivier-Bourbigou, H. (1995) Nonaqueous ionic liquids as reaction solvents, CHEMTECH, 25(9), 26–30. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-010-0127-4_3

[4] HEINZ ZIMMERMANN, Linde AG, Hoellriegelskreuth, Federal Republic of Germany, (2005), *Ethylene*, https://docplayer.net/102147138-Heinz-zimmermann-linde-ag-hoellriegelskreuth-federal-republic-of-germany-roland-walzl-linde-ag-hoellriegelskreuth-federal-republic-of-germany.html

[5] Briceño, G., V. (2021, 2 diciembre). Etileno | Qué es, características, propiedades, para qué sirve, efectos, historia. Euston96. https://www.euston96.com/etileno/

[6] Bolívar, G. (2021). Propileno (C3H6). Lifeder. https://www.lifeder.com/propileno/

[7] Morrison, R. (s. f.). Benzè: història, estructura, propietats, derivats, usos - Ciència - 2023. warbletoncouncil. https://ca1.warbletoncouncil.org/benceno-11929

[8] etilbenceno. (s. f.). https://www.formulacionquimica.com/areno-c8h10-2/

[9] Cota, (s. f.). Què és l'aigua desionitzada? https://www.cota.cat/blog/que-es-l-aigua-desionitzada

[10] AutoSolar, (s.f.), *¿Qué es un grupo electrógeno?* https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/que-es-un-grupo-electrogeno#:~:text=Nos%20referimos%20a%20grupo%20electr%C3%B3geno%20cuando%20hablamos%20de,en%20una%20base%20junto%20a%20varios%20elementos%20m%C3%A1s.

[11] Valdemoro, L. (2016, 30 enero). *Qué es un SAI, tipos de SAI, y cuál elegir*. Computer Hoy. https://computerhoy.com/noticias/hardware/que-es-sai-tipos-sai-cual-elegir-39147

[12] Carburos metalicos: Grupo Air Products, (s.f.), *Inertización y recubrimiento con nitrógeno líquido para sustancias químicas finas y procesos químicos,* https://microsites.airproducts.com/es/inerting/

[13] Perú, A. I. (2022). ¿Qué es un Chiller? Funcionamiento y Mantenimiento. Airson Ingenieros. https://www.airsoningenieros.com/que-es-un-chiller-funcionamiento-y-mantenimiento/