Benz Et S.L.

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ETILBENZÈ

TREBALL DE FI DE GRAU

Enginyeria Química

Tutor: Rafa Bosch

Nina Chavchavadze
Sonia Guerrero Estrada
Carlos López Giraldez
Pau Millàs Garcia
María Fernanda Tomé Cabrera
Pau Vila González

UAB
Universitat Autònoma de Barcelona

escola d'enginyeria

Benz Et S.L.

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ETILBENZÈ

CAPÍTOL 01: ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

Tutor: Rafa Bosch

Nina Chavchavadze
Sonia Guerrero Estrada
Carlos López Giraldez
Pau Millàs Garcia
María Fernanda Tomé Cabrera
Pau Vila González

UAB Universitat Autònoma de Barcelona

escola d'enginyeria

ÍNDEX

1. Especificacions del projecte 8
1.1. Definició del projecte 8
1.1.1. Bases del projecte 8
1.1.2. Abast del projecte 8
1.1.3. Localització de la planta 9
1.1.3.1. Paràmetres d'edificació de la planta 10
1.1.3.2. Serveis disponibles 12
1.1.3.3. Climatologia 13
1.1.3.3.1. Temperatura 13
1.1.3.3.2. Precipitacions 14
1.1.3.3.3. Humitat 15
1.1.3.3.4. Llum diurna 16
1.1.3.3.5. Vent 17
1.1.3.3.6. Sismologia 18
1.1.3.4. Comunicacions i accessibilitat de la planta 19
1.1.3.4.1. Comunicació viària 19
1.1.3.4.2. Comunicació ferroviària 20
1.1.3.4.3. Comunicació aèria 21
1.1.3.4.4. Comunicació marítima 22
1.1.3.4.5. Comunicació amb plantes productores de matèries primeres o receptores del producte 23
1.1.4. Mètodes d'obtenció de etilbenzè 24
1.1.5. Abreviacions i nomenclatura 29
1.2. Característiques de les substàncies implicades al procés 31
1.2.1 Matèries primeres 31
1.2.1.1 Etilè 31
1.2.1.2 Benzè 33
1.2.1.3 Toluè 34
1.2.1.4 Metà 35
1.2.1.5 Età 36

1.2.2 Catalitzador 37
1.2.2.1 Zeolita ZSM-5 37
1.2.3 Producte d'interès 37
1.2.3.1 Etilbenzè 37
1.2.4 Subproductes 38
1.2.4.1 Dietilbenzè 38
1.2.4.2 Propilè 39
1.3. Descripció del procés productiu 40
1.3.1. Selecció del procés de fabricació 40
1.3.2. Diagrama de blocs 41
1.3.3. Diagrama de procés 44
1.3.4. Balanços de matèria 46
1.4. Especificacions i necessitats de serveis de planta 50
1.4.1 Aigua 50
1.4.1.1 Aigua de xarxa 50
1.4.1.2 Aigua potable 50
1.4.1.3 Aigua contra incendis 50
1.4.1.4 Aigua descalcificada 51
1.4.1.5 Aigua de refrigeració 51
1.4.2 Aigua glicolada 51
1.4.3 Oli tèrmic 52
1.4.4 Aire comprimit 52
1.4.5 Nitrogen 52
1.4.6 Combustible 52
1.4.7 Electricitat 53
1.5. Constitució de la planta 53
1.5.1. Descripció qualitativa de la planta 53
1.5.2. Àrees de la planta 54
1.5.2.1. A-100: Serveis 54
1.5.2.3. A-300: Preparació de reactius 55
1.5.2.5. A-500: Reacció de transalquilació 56

1.5.2.6. A-600: Purificació i recuperació de producte.....56
1.5.2.7. A-700: Emmagatzematge de producte.....56
1.5.2.11. A-1100: Oficines i laboratoris.....57
1.5.2.12. A-1200: Aparcament.....57
1.5.2.13. A-1301 i A-1302: Sales de control d'accés.....57
1.5.2.14. A-1400: Zona contra incendis.....58
1.5.2.15. A-1500: Tractament de residus..... 58
1.6. Planificació temporal..... 59
1.7. Bibliografia.....63

1. Especificacions del projecte

1.1. Definició del projecte

1.1.1. Bases del projecte

L'objectiu principal del projecte detallat en aquesta memòria és el disseny d'una planta de producció de etilbenzè (C_8H_{10}) en continu a partir dels reactius benzè (C_6H_6) i etilè (C_2H_4).

Es realitza un estudi de la viabilitat econòmica en la construcció i operació de la planta, tenint presents els aspectes socials, mediambientals i incorporant la normativa vigent en matèria de seguretat i higiene per tal de complir amb els estàndards de disseny delimitats.

La planta industrial, dissenyada per l'empresa BenzEt S.L, es situa al terme municipal de La Canonja, a la província de Tarragona, més específicament al Polígon Industrial "Gasos Nobles".

A continuació, s'exposen les especificacions de la instal·lació:

- Capacitat de producció de la planta: 350.000 tones a l'any de etilbenzè.
- Funcionament de la planta: Producció durant 350 dies a l'any en continu amb un total de 15 dies/any en parada.
- Presentació final del producte: En fase líquida i mitjançant enviaments a granel en tankers de 32 tones.

1.1.2. Abast del projecte

Es presenten els aspectes principals que es desenvolupen en la memòria del projecte, necessaris per dur a terme l'anàlisi de viabilitat d'aquest.

- Disseny de les unitats d'emmagatzematge de matèries primeres i de l'estació de càrrega i descàrrega de les substàncies requerides per dur a terme el procés.
- Disseny i especificació del equips de procés i reacció requerits per a la producció i purificació del producte, etilbenzè.
- Disseny de les unitats d'emmagatzematge del producte acabat.
- Disseny de les àrees de serveis requerits per l'abastament i el correcte funcionament de la planta.

- Disseny de l'emplaçament d'oficines, laboratoris i vestuaris.
- Disseny de l'emplaçament d'àrees auxiliars com ara bé aparcament, estació de gestió d'aigües i gasos, control d'accessos i lluita contra incendis.
- Disseny, enumeració i especificació dels elements d'instrumentació i control.
- Disseny, enumeració i especificació de canonades, vàlvules i accessoris.
- Estudi de la seguretat i higiene de la planta i disseny de sistemes de prevenció de riscos i minimització d'accidents.
- Avaluació de l'impacte mediambiental de l'activitat realitzada a la planta i disseny de sistemes de tractament de contaminants per tal de complir amb els límits d'abocament permesos segons la normativa vigent.
- Avaluació econòmica detallada de la planta, incorporant l'anàlisi de la viabilitat econòmica del projecte.
- Especificació de les actuacions a dur a terme abans i durant la posada en marxa de la planta, a les parades planificades i a la seva operació normal.
- Elaboració dels plànols i diagrames pertinents per tal de comprendre la disposició de les àrees de la planta, el dimensionament i la distribució del procés en aquesta.
- Avaluació de les futures ampliacions i millores que es preveuen respecte el projecte desenvolupat en la present memòria.

1.1.3. Localització de la planta

La planta dissenyada per BenzEt S.L. està localitzada al polígon "Gasos Nobles" del municipi La Canonja, situat en la comarca del Tarragonès a la província de Tarragona (Catalunya, Espanya).

La Canonja limita al nord-est amb el terme municipal de Reus i al sud-est amb el de Tarragona. El municipi consta d'un únic nucli poblacional a 50 metres d'altitud, tenint una població de 5.873 habitants a l'any 2022 i una superfície de 7,32 km^2. [1]

El municipi es troba a una distància de 5 km de la ciutat de Tarragona, a 88 km de Barcelona i a 182 km de la ciutat de Zaragoza.

A menys d'un quilòmetre del nucli urbà de La Canonja es troba el polígon petroquímic de Tarragona, el qual compta amb 30 indústries químiques i és el polígon químic més rellevant de Catalunya i Espanya amb una facturació de més de 20.000 milions d'euros. El polígon industrial dels "Gasos Nobles", on BenzEt S.L. implantarà la planta descrita en aquesta memòria, es situa arran d'aquest. [2]

La localització del municipi de La Canonja, juntament amb el seu entorn geogràfic, a Catalunya i a la província de Tarragona es pot observar a la *Figura 1.1* i *Figura 1.2*, respectivament.

Figura 1.1 i 1.2. *Localització de La Canonja a la comunitat autònoma de Catalunya i a la província de Tarragona.*

1.1.3.1. Paràmetres d'edificació de la planta

Els paràmetres d'edificació s'inclouen en el disseny i la construcció dels edificis i les estructures de suport dels equips, com ara les torres de destil·lació, els reactors, els tancs d'emmagatzematge i altres equips crítics.

Aquests paràmetres s'han definit al polígon industrial "Gasos Nobles", els quals representen les restriccions urbanístiques que afecten la zona de localització de la planta. A la *Taula 1.1* s'exposa la normativa urbanística del municipi de la Canonja.

Taula 1.1. *Paràmetres d'edificació al polígon industrial "Gasos Nobles" seguint la normativa urbanística de l'Ajuntament de La Canonja.*

Edificabilitat	1,5 m^2 de sostre/m^2 de sòl
Ocupació màxima de parcel·la	75%
Ocupació mínima de parcel·la	20% de la superfície d'ocupació màxima
Reculades	5 m a vials i veïns
Alçada màxima	16 m i 3 plantes excepte en producció justificant la necessitat pel procés
Alçada mínima	4 m i 1 planta
Aparcaments	1 plaça/150 m^2 construïts
Distància entre edificis	⅓ de l'edifici més alt amb un mínim de 5 m

Es menciona que el disseny de la instal·lació de la planta acompleix en la seva totalitat la normativa municipal de compliment obligatori, de manera que, el dimensionament de planta s'ajusta a les restriccions urbanístiques.

Es parteix d'una superfície de parcel·la del projecte de 53.235 m^2, aleshores la superfície d'ocupació màxima de parcel·la és de 39.926,25 m^2 i la superfície d'ocupació mínima de parcel·la és de 7.985,25 m^2, valors determinats a partir dels paràmetres d'edificació de la planta, presentats a la *Taula 1.1*.

Finalment, la superfície total de la parcel·la a construir és de 31.941 m^2, que representa un percentatge del 60 % sobre el total disponible. El nivell d'ocupació caracteritzat possibilita la incorporació de 213 places d'aparcament d'automòbils.

A la *Figura 1.3* es mostra la superfície total disponible juntament amb el plànol de la parcel·la on BenzEt S.L. ubica la seva planta de producció d'etilbenzè, la qual està delimitada pels carrers de l'Heli i l'Argó i les avingudes del Neó i Kriptó del polígon industrial "Gasos Nobles".

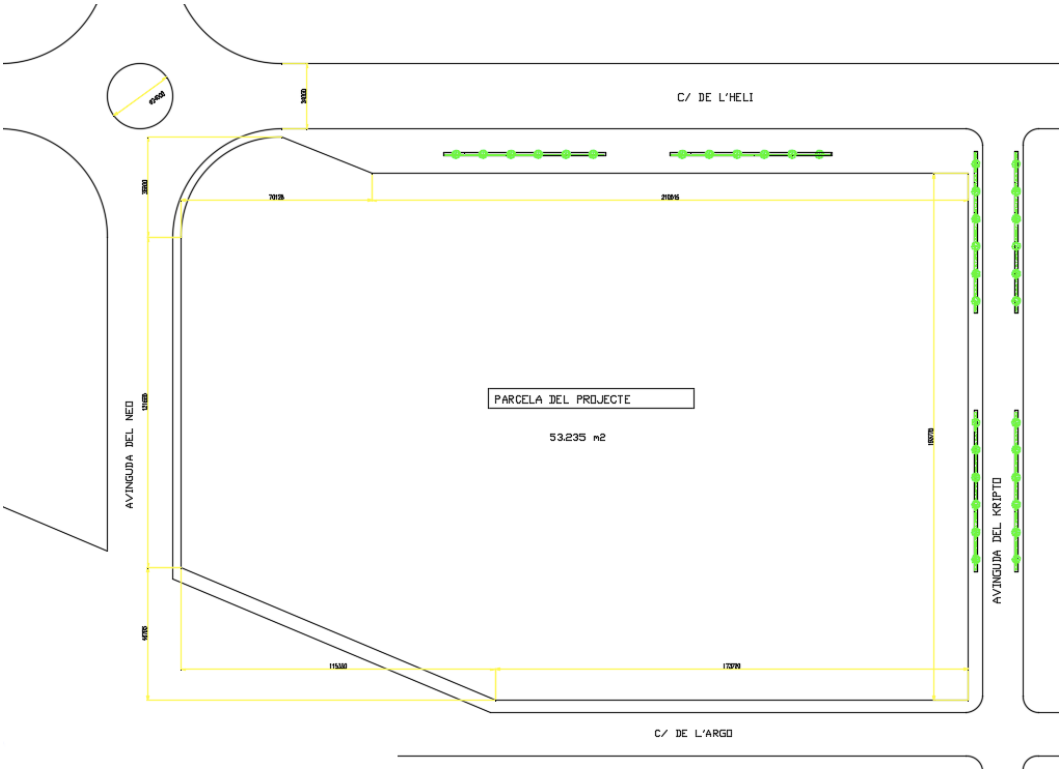


Figura 1.3. *Plànol de la parcel·la disponible per la construcció de la planta.*

1.1.3.2. Serveis disponibles

Es disposa d'un conjunt de serveis auxiliars disponibles pel seu ús, sent aquests essencials per mantenir el correcte funcionament de les operacions de la planta i garantir la seguretat dels treballadors i l'entorn. És important que els serveis disponibles a planta siguin adequats i fiables per satisfer les necessitats específiques de la planta, garantir la qualitat del producte final i permetre que les operacions es duguin a terme de manera contínua i sense interrupcions.

Els serveis disponibles establerts són els mateixos per a totes les plantes del polígon industrial "Gasos Nobles" i es representen a la *Taula 1.2*.

Taula 1.2. *Serveis disponibles a planta de la normativa urbanística de l'Ajuntament de La Canonja*

Energia elèctrica	Connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la, cal preveure una estació transformadora (espai ja delimitat al plànol)
Gas natural	Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm2)
Clavegueram	Xarxa unitaria al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m (diàmetre del col·lector de 800 mm)
Aigua d'incendis	La màxima pressió es de 4 kg/cm2 , cal dissenyar una estació de bombament i reserva d'aigua
Aigua de xarxa	Escomesa a peu de parcela 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

Els serveis disponibles a planta exposats a la *Taula 1.2* representen els mínims necessaris per posar la planta en operació, així com, unes dimensions delimitades per proporcionar una correcta organització de l'espai requerit pels serveis dins de la instal·lació.

1.1.3.3. Climatologia

L'estudi previ de la climatologia és indispensable en la localització de la planta ja que les operacions d'aquesta es poden veure afectades significativament pel clima. La temperatura,

la humitat, la precipitació i els patrons de vent, factors influenciats pel clima, poden modificar l'eficiència dels processos de la planta, el rendiment dels equips i, conseqüentment, la qualitat del producte final. A més, el clima pot variar la qualitat de l'aire i l'aigua, que són factors essencials que es consideren en una ubicació industrial.

La climatologia també pot afectar la seguretat de la planta i la comunitat circumdant. És necessari considerar fenòmens de climatologia adversa, per minimitzar el seu impacte sobre el procés, el medi ambient i la seguretat de la planta.

A continuació, s'elabora un anàlisi climàtic en el municipi de La Canonja, avaluant paràmetres com la temperatura, precipitacions, humitat, llum diurna, vent i sismologia al terme municipal.

1.1.3.3.1. Temperatura

La temperatura promig anual de La Canonja es troba al voltant dels 16,3 ºC. L'agost és el mes més calorós de l'any, assolint una temperatura mitjana de 24,8 ºC i una temperatura màxima de 29,4 ºC. En canvi, el mes de gener és el més fred de l'any, assolint una temperatura mitjana de 8,7 ºC i una temperatura mínima de 5,2 ºC. A la *Figura 1.4* es representa un diagrama de la temperatura anual de La Canonja, incloent la temperatura mitjana, mínima i màxima que registrada cada mes. [3]

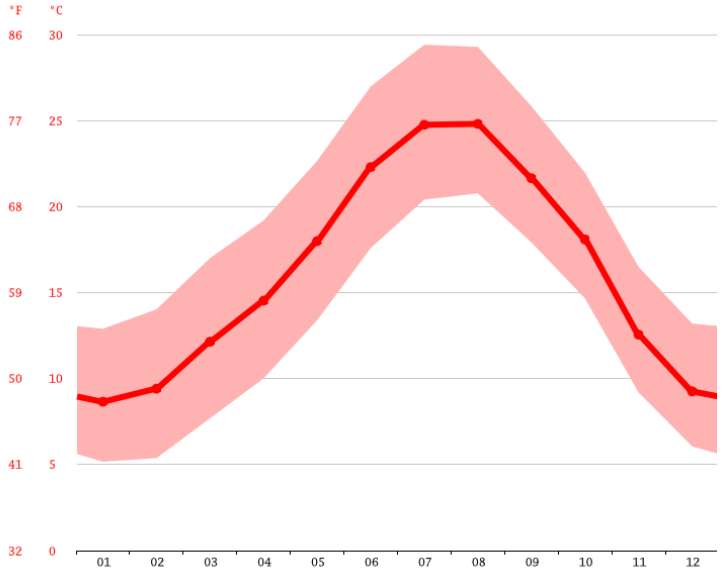


Figura 1.4. *Diagrama de temperatura de La Canonja.* [3]

Cal tenir en compte que aquesta fluctuació de la temperatura pot afectar al funcionament dels equips de la planta i com a conseqüència a l'eficiència del procés. La temperatura serà

un paràmetre important a controlar en equips crítics com ara bé reactors, columnes de destil·lació, separadors, entre d'altres, i canvis en la temperatura de l'ambient poden afectar a la temperatura dels corrents del procés escalfant o refredant equips o fluids tèrmics, afectant negativament al procés i a la qualitat del producte.

Si la temperatura no fos controlada a la planta, les altes temperatures a l'estiu poden provocar un escalfament de l'aigua de refrigeració, produint un menor bescanvi de calor dels fluids. També pot afectar a la cinètica provocant una disminució de la velocitat de reacció o fins i tot la inactivació del catalitzador. D'altra banda, les temperatures baixes poden afectar a la viscositat dels reactius fent que el transport es dificulti, a la temperatura dels fluids tèrmics com ara bé l'aigua de refrigeració o també a reduir la velocitat de reacció.

1.1.3.3.2. Precipitacions

El juliol és el mes amb una precipitació més baixa, amb uns valors promigs de 21 mm. El mes amb major precipitacions a l'any és l'octubre assolint valors de 88 mm. A la *Figura 1.5* es representa un climograma, on es pot visualitzar les precipitacions de La Canonja al llarg de l'any. [3]

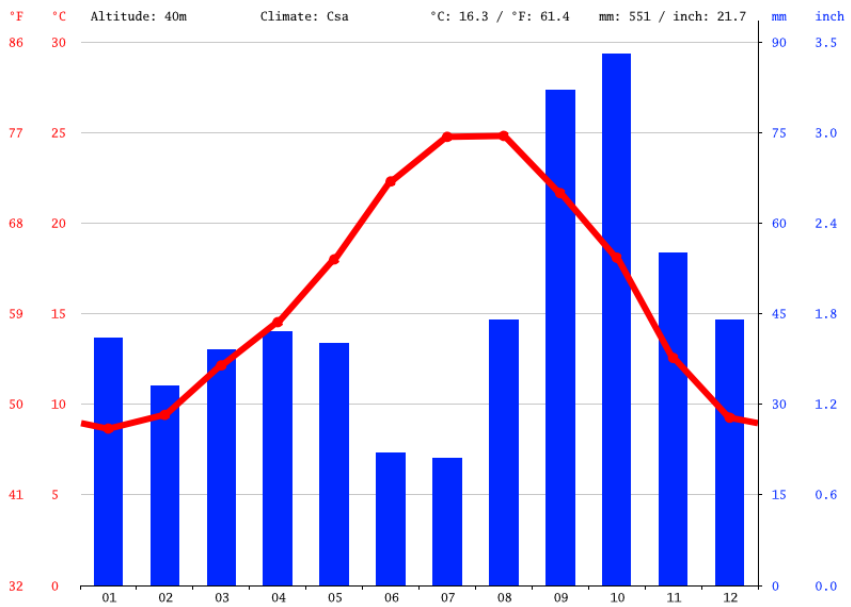


Figura 1.5. *Climograma de La Canonja.* [3]

Es comenta que el procés requereix la utilització de vapor d'aigua per separar els components de la barreja final. Si la precipitació és molt alta, el vapor d'aigua disponible per al procés pot disminuir, reduint així la capacitat de producció de la planta. A més, si el vapor

d'aigua utilitzat per a la producció d'etilbenzè és de baixa qualitat, a causa de la humitat excessiva, podria afectar la puresa del producte final.

La precipitació també pot afectar la seguretat de la planta. Si hi ha una quantitat significativa de precipitació, hi podria haver un risc d'inundacions a la zona de la planta, cosa que podria interrompre la producció i posar en perill la seguretat dels treballadors.

1.1.3.3.3. Humitat

La humitat relativa més baixa de l'any és al juny, assolint un valor de 61,92%. El mes amb més humitat és el desembre, assolint un valor de 74.07 %. La quantitat més gran de dies plujosos en un mes és 9.53, període que té lloc al setembre. El mes amb la menor quantitat de dies plujosos és el juny amb 3.97 dies. [4]

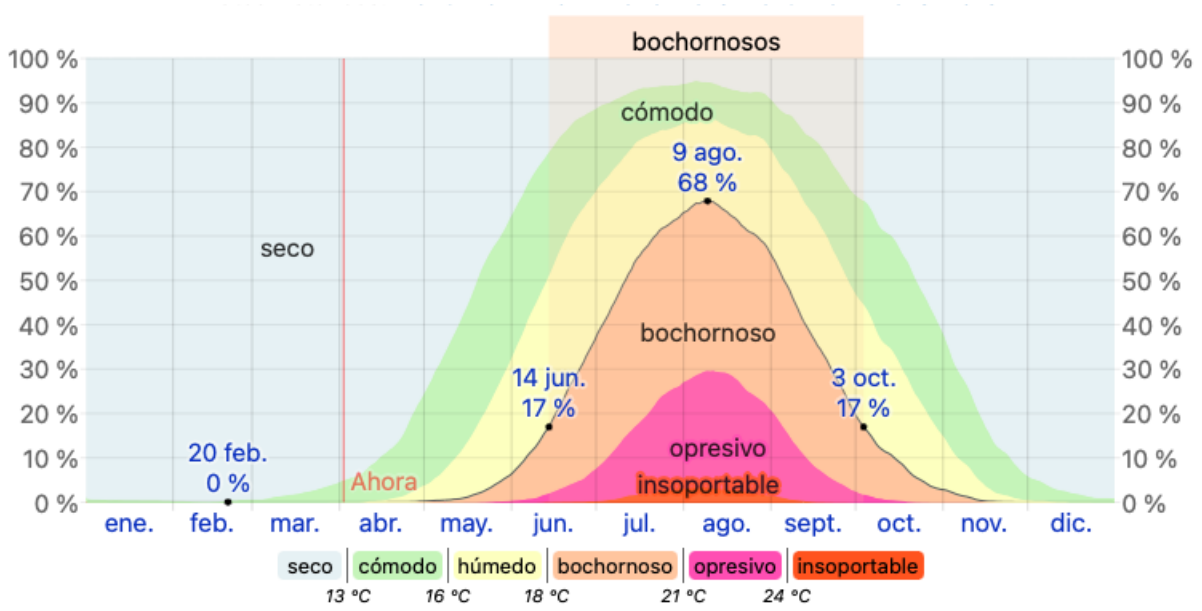


Figura 1.6. *Humitat anual a la província de Tarragona.* [4]

1.1.3.3.4. Llum diurna

La durada del dia varia al llarg de l'any i com a conseqüència la llum natural també ho fa. Com a valor promig anual La Canonja té 12,3 hores de llum diurna, aproximadament. Tal com es pot observar a la *Figura 1.7,* els mesos de desembre i gener presenten un menor temps de llum, sent aquest de 9,3 hores de llum diaria. En canvi, els mesos amb un major temps de llum natural diaria són juny i juliol, amb un promig de 15 hores de llum. [4]

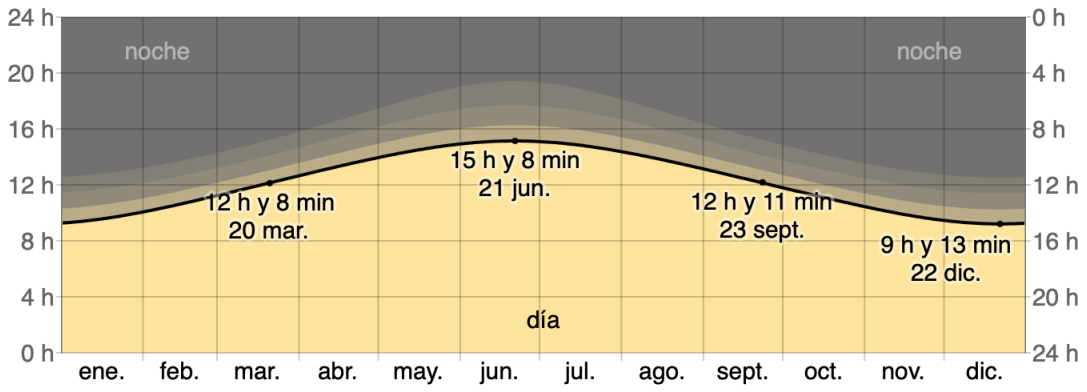


Figura 1.7. *Registre d'hores de llum natural a la província de Tarragona.* [4]

La fluctuació de la llum diurna afecta principalment al cost energètic que suposa l'enllumenat de la planta. D'aquesta manera, una menor disponibilitat de llum comporta una major necessitat d'enllumenament artificial de la planta, la qual cosa es tradueix en una major despesa econòmica. En canvi, per dies on hi ha més hores de llum natural la il·luminació artificial serà necessària menys hores del dia i la despesa econòmica serà menor en aquell període.

1.1.3.3.5. Vent

A l'hora d'ubicar una planta industrial és important tenir en compte la velocitat del vent de la localització, la qual varia principalment segons la topografia local entre d'altres factors. El vent pot ocasionar danys greus en els treballadors i fins i tot en les infraestructures de la planta si aquest supera una velocitat de 50 quilòmetres per hora, provocant caigudes d'arbres o d'objectes i també dificultant el trànsit de les persones.

La rellevància d'aquest factor augmenta al conèixer que La Canonja és un municipi situat a pocs metres de la costa de Tarragona, ja que fortes ràfegues de vent poden provocar onades que superen els 14 metres d'altitud que causarien danys greus al polígon industrial. D'aquesta manera s'avalua la velocitat promig anual del vent a Tarragona, la qual es pot observar a la *Figura 1.8*.

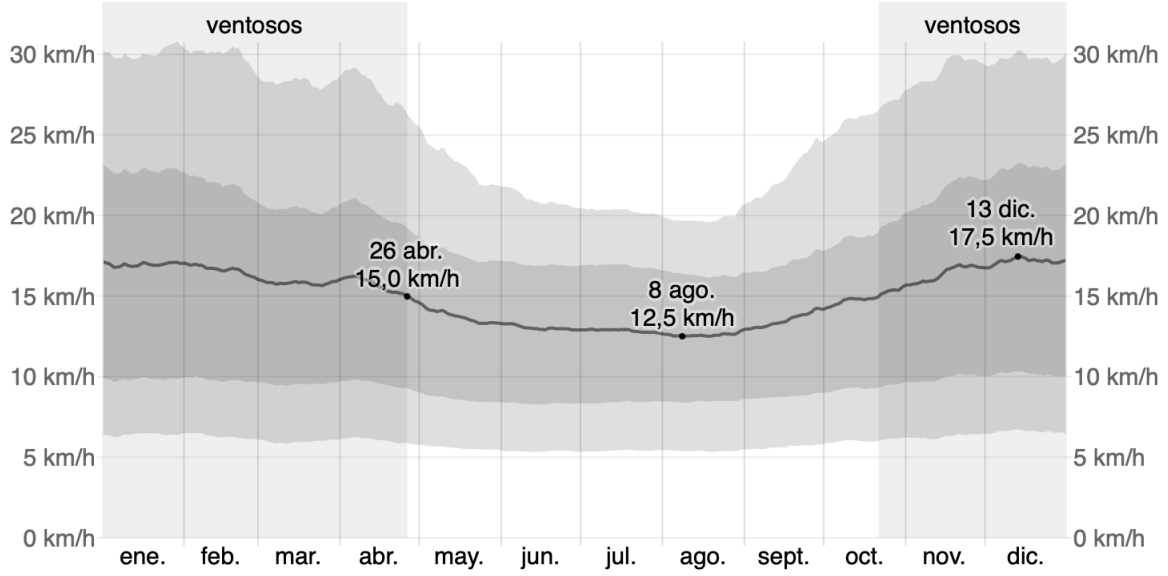


Figura 1.8. *Evolució anual de la velocitat del vent a la província de Tarragona.* [4]

Tal com es pot observar, la velocitat promig del vent al llarg de tot l'any és de 15 km/h aproximadament, podent-se considerar aleshores com una brisa feble la qual no comporta cap risc. El període amb vents més forts és el de novembre fins abril, amb una velocitat màxima del vent de 17,5 km/h. En canvi, els mesos de l'any amb vents més dèbils són des de maig fins l'octubre, amb una velocitat mínima de 12,5 km/h. [4][5]

1.1.3.3.6. Sismologia

Cal destacar també les dades sismològiques de l'ubicació on es troba la planta industrial, ja que segons la magnitud i la localització els sismes poden arribar a provocar temblors, terratrèmols o fins i tot tsunamis en zones costeres, com és el cas d'aquesta planta. Tots aquests fenòmens solen provocar víctimes o danys materials a infraestructures.

A la *Figura 1.9* es mostra un mapa de Catalunya amb les diferents zones sísmiques, classificades segons la intensitat dels sismes registrats. La Canonja es troba en la zona grisenca, corresponent a la zona d'intensitat 1, la qual correspon al grau VI segons la escala sísmica MSK. Aquests terratrèmols són percebuts per les persones i animals, provocant temblors, vibracions, caigudes d'objectes i danys lleugers a infraestructures com per exemple petites esquerdes. [6] [7]

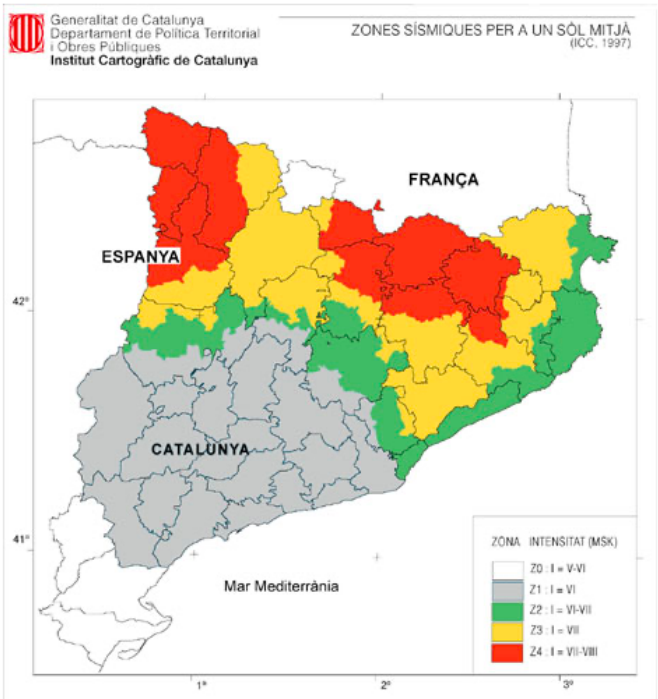


Figura 1.9. *Classificació per intensitat de les zones sísmiques de Catalunya considerant un sòl mitjà.* [5]

De totes maneres, al llarg de l'any 2022 a la província de Tarragona es van registrar 796 sismes, dels quals 790 no van ser notoris per la població, 5 van ser percebuts pels habitants però no van causar cap dany i l'últim només va provocar temblors i caigudes d'objectes als habitatges. [8] Aleshores La Canonja es pot considerar una ubicació segura per tal d'instal·lar la planta de producció d'etilbenzè amb riscos molt baixos de que es produeixin danys per sismes.

A més, l'11 d'octubre del 2002 va ser publicat al BOE la NCSE, la Norma de Construcció Sismoresistent General i d'Edificació, seguint el Reial Decret 997/2002. Es presenta la normativa que han de complir les infraestructures segons l'acceleració sísmica bàsica de la seva localització, on si aquesta és superior a 0,04g les especificacions de les estructures esmentades són d'obligat compliment. Pel cas de la província de Tarragona, la acceleració sísmica bàsica és de 0,04g per tots els municipis, incloent La Canonja. D'aquesta manera no caldrà tenir present a l'hora del disseny de la infraestructura de la planta i els materials utilitzats el RD 997/2002. [9] [10]

1.1.3.4. Comunicacions i accessibilitat de la planta

Per tal d'escollir una ubicació òptima de la planta cal tenir present que disposar d'una bona accessibilitat i un ampli ventall de vies de comunicació són factors claus que poden determinar la viabilitat del projecte.

La correcta accessibilitat de la planta permet un bon accés als vehicles que entreguen matèria primera, necessària per realitzar el procés productiu, i també als camions que recullen el producte final, a més de l'accés dels treballadors. D'altra banda, a nivell empresarial tenir una bona xarxa de comunicacions facilita la distribució del producte i el disposar d'un mercat més ampli de compradors i de proveïdors dels recursos necessaris.

S'estudien aleshores les diferents vies de comunicació i els tipus de transport disponibles en el terme municipal de La Canonja com ara bé el transport viari, ferroviari, marítim i aeri. En aquest apartat també es fa èmfasi en la comunicació amb plantes productores de matèries primeres i receptores del producte final.

1.1.3.4.1. Comunicació viària

Respecte la comunicació mitjançant carreteres i autopistes La Canonja es troba en una bona localització, comunicant-se amb Europa i les principals àrees econòmiques de Catalunya i Espanya a través de diferents vies properes al terme municipal, aquestes poden observar-se a la *Figura 1.10*.

Entre elles destaquen:

- AP-7. L'autopista del Mediterrani que comunica tota la costa mediterrània espanyola, des de la frontera amb França a La Jonquera fins Cadis, comprenent uns 1000 km de distància.
- A-7. L'autovia del Mediterrani que comunica Algesires amb Barcelona, en part seguint la mateixa ruta que l'AP-7.
- N-340. La carretera del Mediterrani uneix Cadis amb Barcelona per tota la costa mediterrània. El seu recorregut és de 1.200 quilòmetres.
- N-240. Carretera estatal de caràcter nacional que comunica Tarragona amb Bilbao, passant també per Lleida, Osca, Pamplona i Vitoria, comprenent un recorregut total de 550 km.
- N-420. Carretera de més de 800 km de llargada que uneix Còrdova amb Tarragona, creuant també Andalusia, Castella la Manxa, la Comunitat Valenciana i Aragó.

Figura 1.10. *Vies terrestres que creuen Tarragona.* [11]

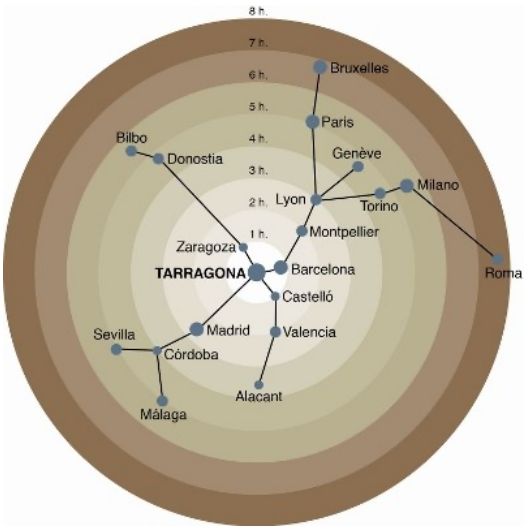


Figura 1.11. *Durada trajecte per carretera de Tarragona a altres ciutats.* [11]

Gràcies a la xarxa de comunicació viària que travessa el Tarragonès (comarca on es situa el municipi de La Canonja), la planta industrial pot comunicar-se fàcilment amb àrees econòmicament interessant com ara bé ciutats de països propers. A la *Figura 1.11* es mostra la durada del trajecte des de Tarragona a diferents ciutats d'interès a través del transport terrestre per carretera. Per exemple, el temps en arribar a països com França o Italia és de 2 hores i 4,5 hores, respectivament. [11]

1.1.3.4.2. Comunicació ferroviària

A l'àmbit del transport ferroviari, Tarragona compta amb dues estacions. La primera es situa al centre de la ciutat, és parada de la línia d'alta velocitat Euromed (connecta Barcelona i Alacant) i també ofereix serveis de rodalies i regionals. La segona estació és de la Camp de Tarragona de AVE que comunica Tarragonza amb Saragossa en 1 hora i amb Madrid en 2,5 hores.

A més a més, la Comissió Europea va declarar el "Corredor del Mediterrani" com a principal eix ferroviari de mercaderies i viatgers per tal de connectar el sud d'Espanya amb la frontera francesa. Encara s'està treballant en diferents trams i Tarragona es preveu que serà un dels principals nodes. A més, no només connectarà Espanya amb França sinó que aquesta línia de ferrocarrils també passarà per altres països europeus com Itàlia, Eslovènia, Croàcia i Hongria.

A la *Figura 1.12* es mostra la xarxa bàsica ferroviària d'Espanya tant de viatgers com de mercaderies.

Figura 1.12. *Xarxa ferroviària de viatgers i mercaderies d'Espanya.*

1.1.3.4.3. Comunicació aèria

Els dos aeroports més propers a La Canonja són els aeroports internacionals de Reus i de Barcelona-El Prat. El primer es troba només a 8 km del municipi i compta amb 23 rutes en 7 països com Alemanya, Suècia o Irlanda, entre d'altres. Totes les rutes disponibles poden consultar-se a la *Figura 1.13*. En el cas de l'aeroport de Barcelona-El Prat, el qual es troba a 1 hora de trajecte des de La Canonja (a 98 km), compta amb una major infraestructura i una quantitat considerable de rutes. En concret disposa de 171 rutes operades per 69 companyies diferents, fent fins i tot trajectes intercontinentals, tal com observem a la *Figura 1.14*. [12]

Figura 1.13. *Rutes de l'aeroport de Reus.* [12]

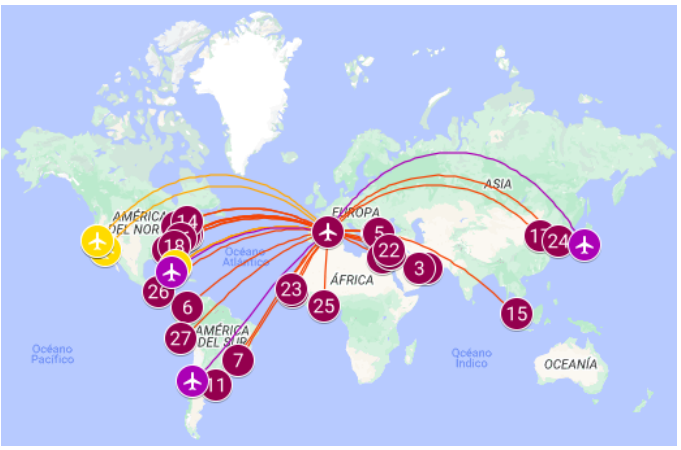


Figura 1.14. *Rutes intercontinentals de l'aeroport de Barcelona-El Prat.* [12]

Per tant, la xarxa de comunicacions aèries disponible en La Canonja és força àmplia com per poder importar o exportar productes a un ventall molt extens de països.

1.1.3.4.4. Comunicació marítima

El port més proper a La Canonja és el port de Tarragona, el qual es troba a només 9 km del polígon industrial. Aquest és pioner en la costa mediterrània respecte la incorporació de l'ús del ferrocarrils i líder en l'accés directe del tren a tots els seus molls. A més, és consolidat com una de les portes d'entrada i sortida de mercaderies d'Europa, sent capçaler al Mediterrani.

Situat com el cinquè port més importat d'Espanya, té connexió amb setanta països mitjançant línies marítimes regulars establertes amb ports d'arreu del món. A continuació, a la *Figura 1.15* es mostren les principals rutes marítimes on s'observa com la costa espanyola del Mediterrani té una gran activitat.

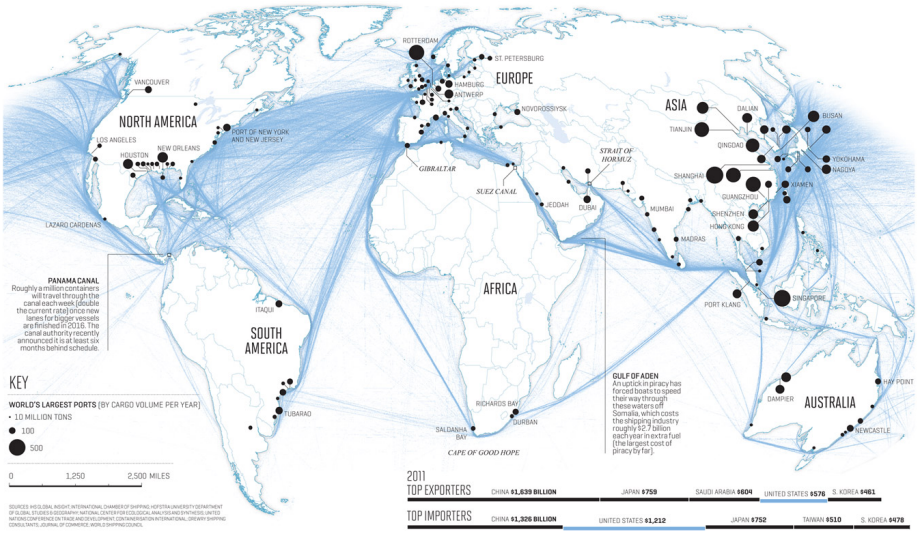


Figura 1.15. *Xarxa de línies marítimes mundials establertes.*

1.1.3.4.5. Comunicació amb plantes productores de matèries primeres o receptores del producte

Per a que el projecte sigui viable és necessari fer una recerca exhaustiva sobre els potencials compradors del producte final, etilbenzè, ja que aquesta serà la principal font d'ingressos econòmics de la planta. Alhora també cal cercar els diferents productors de la matèria primera necessària per dur a terme el procés i així seleccionar els productors òptims sempre tenint en compte la qualitat del producte importat, la fiabilitat i la despesa econòmica que suposarà.

Respecte els productors de matèria primera, la qual és el benzè i l'etilè, es cerquen les indústries properes a La Canonja que produeixen aquestes substàncies per tal de minimitzar els costos de transport.

Els principals exportadors de benzè a nivell mundial es troben a països com Alemanya, la Índia, Països Baixos o Tailàndia però el transport internacional és més costós que si el producte s'importa directament d'Espanya, preferiblement de Catalunya, degut a que el trajecte és major. Les indústries capdavanteres en la producció de benzè en el territori espanyol són Cepsa Química i Repsol Química. Cepsa Química es sitúa a Huelva, a 1000 quilòmetres de la planta industrial, en canvi, Repsol Química es troba a Tarragona a tan sols 15 quilòmetres de La Canonja. A més a més, Repsol Química produeix 400 mil tones de benzè a l'any, assegurant que pot abastar la planta d'aquest reactiu. Per tant, el benzè s'importaria directament del Complex Industrial Repsol Química de Tarragona amb direcció "La Pobla de Mafumet, s/n, 43141, Tarragona". [13]

Pel cas de l'etilè les diferents indústries productores a Espanya són de nou Repsol Química a Tarragona i Cepsa Química a Cadis. Pel cas de Repsol Química produeixen una quantitat d'etilè de 810 mil tones l'any, poguent aportar tota la matèria primera necessària per dur el procés a la planta de BenzEt S.L. Tot i això, l'etilè es rep mitjançant una canonada provinent d'una empresa propera pertanyent també al polígon industrial Gasos Nobles, sent l'opció més econòmica.

Finalment, es cerquen possibles compradors del producte final de la planta industrial, l'etilbenzè. El principal ús del etilbenzè a la indústria és la producció d'estirè aleshores es fa una recerca de les principals plantes de producció d'aquesta substància, les quals són Repsol Química (Tarragona), Cepsa Química (Cadis), Elix Polymers (Tarragona), Versalis (Itàlia), Trinseo (Estats Units), entre d'altres. [13]

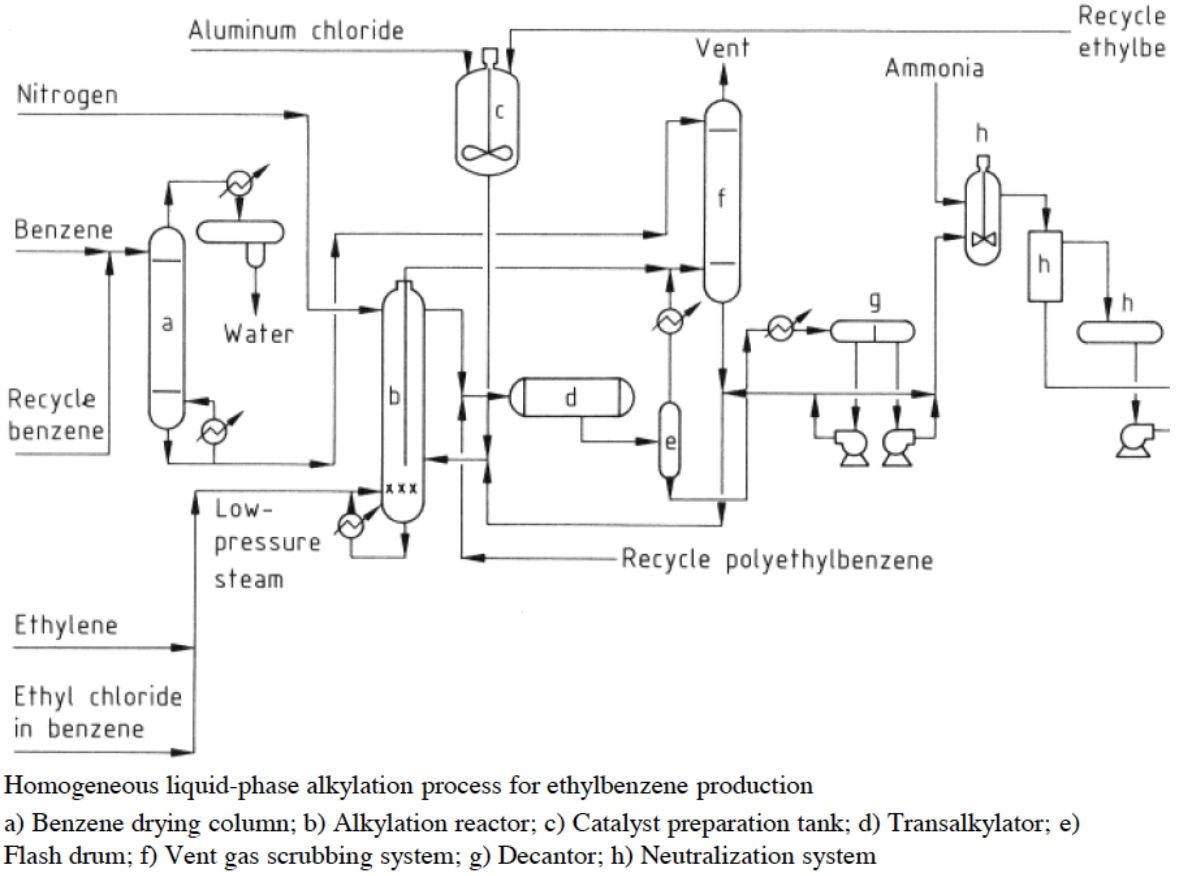
1.1.4. Mètodes d'obtenció de etilbenzè

La producció d'etilbenzè a l'actualitat es realitza mitjançant dues vies de síntesi diferents principalment, les quals no s'apliquen en la mateixa extensió i una d'elles predomina respecte la resta de processos. A continuació es presenten els dos mètodes d'obtenció d'etilbenzè esmentats.

- Alquilació. Aquest és el tipus de procés més implementat mundialment per realitzar la producció d'etilbenzè. En aquest es fa reaccionar l'etilè amb el benzè per tal d'obtenir el producte d'interès. Al llarg del segle XX s'ha desenvolupat un conjunt de variacions del procés d'alquilació segons el catalitzador utilitzat al reactor i també segons la fase en la que es troben els reactius a l'hora de dur a terme la reacció.

Primerament, al 1930 es van fer servir com a catalitzadors àcids de Lewis, principalment clorur d'alumini. Aquest mètode tot i proporcionar bons resultats econòmics i aconseguir una elevada conversió, proporcionava efluents residuals difícilment tractables i molt costosos, a més de ser perjudicials pel medi ambient. Altrament, els corrents generats causaven una corrosió molt severa tant als equips del procés com a les canonades que connectaven els diferents equips, havent de fer parades tècniques sovint. Aquest procés es pot utilitzar amb els reactius en fase líquida amb una alimentació d'etilè de grau polimèric o també en fase vapor poguent utilitzar també un aliment d'etilè diluït provinent de gasos residuals de refineria, de les unitats de craqueig catalític.[14]

A continuació es presenta a la *Figura 1.16* el diagrames de procés de producció d'etilbenzè utilitzant catalitzador àcid en fase líquida.

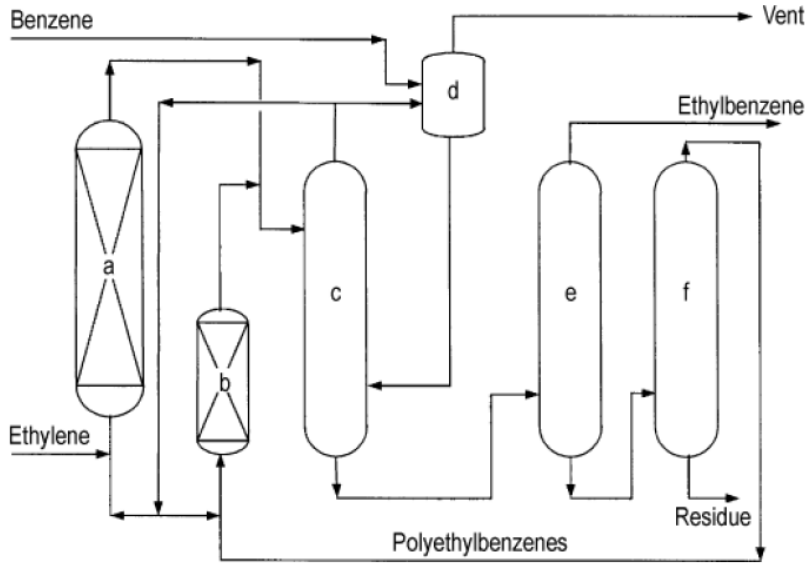


Homogeneous liquid-phase alkylation process for ethylbenzene production
a) Benzene drying column; b) Alkylation reactor; c) Catalyst preparation tank; d) Transalkylator; e) Flash drum; f) Vent gas scrubbing system; g) Decantor; h) Neutralization system

Figura 1.16. *Diagrama del procés de producció d'etilbenzè en fase líquida amb catalitzadors àcids.*[14]

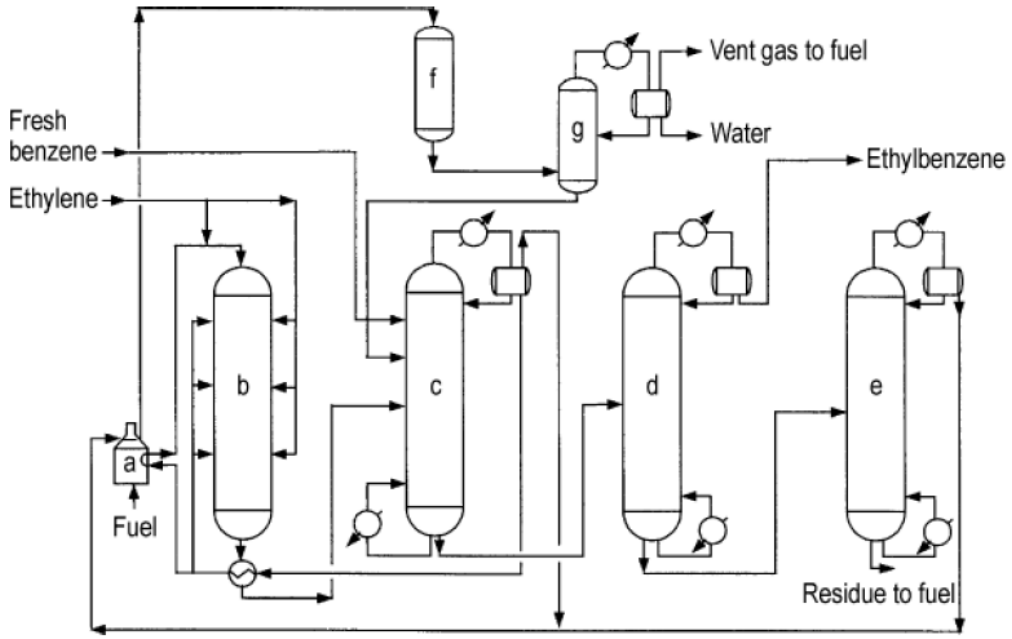
Més tard, sobre el 1980 es va desenvolupar una nova tecnologia que feia ús de catalitzadors heterogenis de zeolites, majoritàriament amb la zeolita ZSM-5. L'implementació d'aquest catalitzador no provocava l'obtenció de corrents residuals de tractament costós ni tampoc corrosió dels elements del procés, en canvi, les plantes segueixen sent econòmicament viables i s'obtenen rendiments i conversions elevats. Pel cas de l'ús de zeolites com a catalitzadors els processos es poden dur a terme en fase líquida, fase vapor i fase mixta. Els processos que han proporcionat millors resultats són els realitzats en fase líquida i fase mixta ja que les condicions d'operació requerides són més suaus, la qual cosa es tradueix en una menor despesa econòmica en els equips. Envers, pel cas de les plantes industrials alimentades amb etilè diluït, s'obtenen millors resultats si els reactius es troben en fase vapor al reactor. [14]

A continuació es presenten a la *Figura 1.18* i *Figura 1.19* els diagrames de procés de producció d'etilbenzè utilitzant zeolites heterogènies com a catalitzador en fase líquida, vapor i mixta, respectivament.



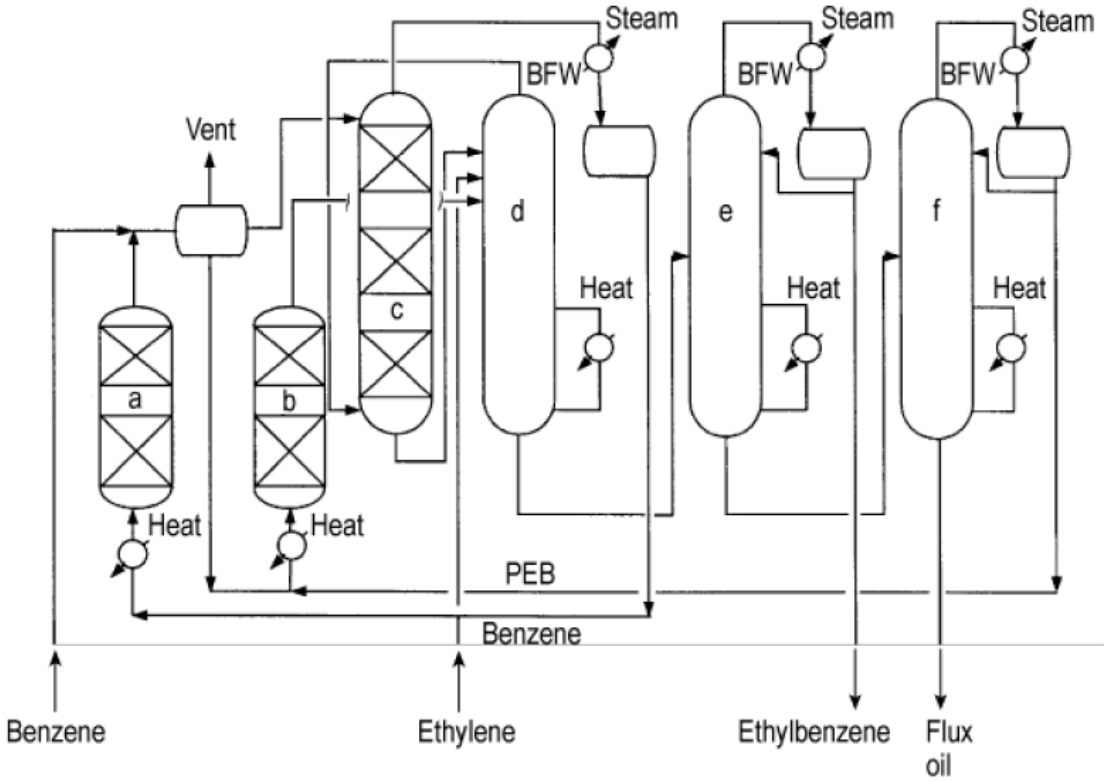
Mobil–Badger EBMax process
a) Alkylation reactor; b) Transalkylation reactor; c) Benzene column; d) Vent-gas column; f) Polyethylbenzene column

Figura 1.18. *Diagrama de procés de producció d'etilbenzè en fase líquida amb zeolites.* [14]



Third-generation Mobil–Badger ethylbenzene process
a)Reactor-feed heater; b) Alkylation reactor; c) Benzene recovery column; d) Ethylbenzene recovery column; e) Polyethylenebenzene recovery column; f) Secondary reactor; g) Stabilizer

Figura 1.19. *Diagrama de procés de producció d'etilbenzè en fase vapor amb zeolites.* [14]



CDTech ethylbenzene process
a) Finishing reactor; b) Transalkylator; c) Alkylator; d) Benzene stripper; e) Ethylbenzene column; f) Polyethylbenzene column BFW = boiler feed water, PEB = polyethylbenzene

Figura 1.19. *Diagrama de procés de producció d'etilbenzè en fase mixta amb zeolites.* [14]

En tots els tipus de procés esmentats anteriorment no únicament es produeix etilbenzè com a producte sinó que també s'obtenen subproductes no desitjats com són els polialquilbenzens, principalment dietilbenzè i trietilbenzè. És per això que s'ha d'afegir la instal·lació d'un reactor on es dongui la reacció de transalquilació, fent reaccionar benzè amb els polialquilbenzens, per tal de recuperar tot l'etilbenzè possible i així incrementar el rendiment del procés. L'altre fet que facilita la reducció de la producció de polialquilbenzens, el qual és un paràmetre important a l'hora de dissenyar la instal·lació és la relació etilè:benzè al reactor, es treballa amb relacions al voltant de 1:8, de tal manera que hi hagi un excés de benzè i dificultar que l'etilè reaccioni amb les molècules d'etilbenzè formades. Un altre subproducte present és el xilè, aquest es produeix en major quantitat en processos en fase vapor que en fase líquida i la seva separació del producte d'interès és d'elevada dificultat. [14]

La reacció d'alquilació del benzè amb etilè, presentada a la *Figura 1.20*, és exotèrmica (ΔH = -114 kJ/mol) la qual cosa facilita l'aprofitament energètic de la calor produïda en la reacció per fer-se servir en altres parts del procés, aconseguint un estalvi energètic superior al 90%. [15]

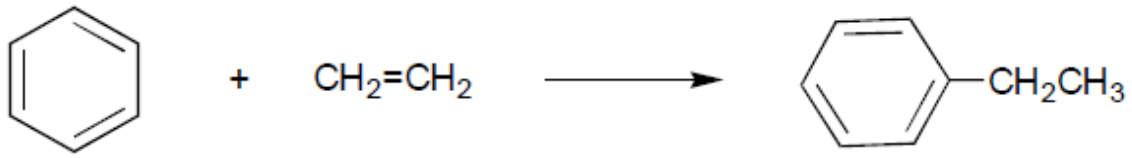


Figura 1.20. *Reacció d'alquilació del benzè i l'etilè per formar etilbenzè.* [16]

L'altra reacció que té lloc és la que forma el subproducte no desitjat del procés, el 1,4-dietilbenzè. Aquest es forma a través de la reacció del etilbenzè amb una nova molècula d'etilè, és per això que a la entrada del reactor d'alquilació el benzè sempre ha d'estar en excès mantenint la relació benzè-etilè normalment a 8:1, evitant que la reacció tingui lloc en major mesura. La reacció de la mateixa manera que la presentada anteriorment també és exotèrmica.

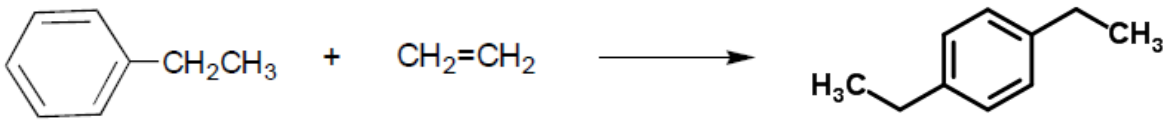


Figura 1.21. *Reacció del etilbenzè amb etilè per formar el subproducte principal del procés,1,4-dietilbenzè.* [17]

- Separació de corrents amb components C8 mixtes. Menys de l'1% de la producció mundial d'etilbenzè es realitza mitjançant aquest tipus de procés, aquest consisteix en recuperar-lo de corrents mixtes de xilens. S'han desenvolupat diverses variacions d'aquest procés, incloent processos d'adsorció però principalment s'utilitzen columnes de destil·lació. A causa de la dificultat de la separació del producte d'interès de la resta de components s'utilitzen columnes de superfraccionament, les quals consisteixen de columnes amb una gran quantitat de plats i conseqüentment de gran alçada per tal de separar components molt poc volàtils. La separació requereix generalment tres columnes de destil·lació en sèrie, cadascuna amb més de 100 etapes d'equilibri. Malauradament, tot i que es van construir diverses unitats, l'augment del cost de l'energia i l'elevada despesa econòmica que requereix aquest tipus de planta industrial ha provocat que aquesta via de síntesi no sigui competitiva i no s'implementi actualment. [14]

1.1.5. Abreviacions i nomenclatura

Per tal de facilitar la comprensió respecte l'especificació de la planta de BenzEt S.L. i del procés es determina la nomenclatura i les abreviacions utilitzades. D'aquesta manera es simplifica la localització i la diferenciació de totes les àrees de la planta, els equips utilitzats al procés productiu i les substàncies i/o mescles presents a les línies de procés.

Primerament, a la *Taula 1.3* es presenta la nomenclatura utilitzada per la classificació de les àrees de la planta. Aquesta es basa en un número de tres dígits precedits de "A-", el segon i tercer dígit es reserva per diferenciar zones dins d'una mateixa àrea, sinó aquests seràn 0.

Taula 1.3. *Nomenclatura i descripció de les diferents àrees de la planta de BenzEt S.L.*

Nomenclatura	Descripció de l'àrea
A-100	Serveis
A-200	Emmagatzematge de matèries primeres
A-300	Preparació de reactius
A-400	Reacció d'alquilació
A-500	Reacció de transalquilació
A-600	Purificació i recuperació de producte
A-700	Emmagatzematge de producte
A-800	Vestidors
A-900	Sala de control
A-1000	Taller de maquinària
A-1100	Oficines i laboratoris
A-1200	Aparcament
A-1301	Control d'accés de treballadors i transport de matèries primeres
A-1302	Control d'accés de transport de producte i abastiment de serveis de planta
A-1400	Zona contra incendis i bassa
A-1500	Tractament de residus gasosos

D'altra banda, a la *Taula 1.4* s'especifiquen les abreviacions i la nomenclatura utilitzada pels equips que formen part del procés i són presents a les diferents àrees de la planta.

Taula 1.4. *Abreviacions i nomenclatura dels equips del procés.*

Equip	Nomenclatura
Bescanviador de calor	E
Columna de destil·lació	C
Condensador	Cd
Forn	H
Mesclador	M
Reactor	R
Reboiler	Rb
Tanc d'emmagatzematge/ Tanc pulmó	T
Torre de refrigeració	Tr
Chiller	Ch
Compressor	Co
Tanc de Nitrogen	Nt
Descalcificadora	D
Torre d'absorció	Ta
Torxa	To
Turbina de gas	Tg
Grup electrogen	Ge
Transformador elèctric	Te

Per últim, es presenta a la *Taula 1.5* la nomenclatura utilitzada per fer referència a les substàncies implicades al procés.

Taula 1.5. *Abreviacions i nomenclatura de les substàncies implicades al procés.*

Nomenclatura	Substància
E	Etilè
B	Benzè
EB	Etilbenzè
DEB	Dietilbenzè
T	Toluè
M	Metà
P	Propilè
ET	Età
AG	Aigua glicolada al 30%
A	Aigua de refrigeració
O	Oli tèrmic
N	Nitrogen
AI	Aire comprimit

1.2. Característiques de les substàncies implicades al procés

En aquest apartat es farà una breu descripció les principals substàncies implicades al procés i s'estudiaran les seves propietats[18] així com la seva seguretat.[19] La seguretat dels compostos utilitzats es detallarà de forma extensa en el capítol 5: Seguretat i Higiene.

1.2.1 Matèries primeres

1.2.1.1 Etilè

L'etilè o etè és un compost orgànic format per dos àtoms de carboni units per un doble enllaç.

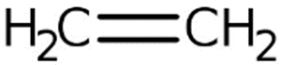


Figura 1.22. *Estructura molecular del etilè.*

És el producte petroquímic que més quantitat es produeix anualment arreu del món. Normalment, és produït en el craqueig d'hidrocarburs amb vapor. Aquest producte no es sol utilitzar com a producte final, simplement s'utilitza com a intermediari en molts processos químics, com pot ser en la creació de polímers, resines, dissolvents, etc.

Taula 1.6. *Propietats de l'etilè.*

Fòrmula molecular	C_2H_4
Massa molecular (g/mol)	28,05
Punt de fusió a P atm (ºC)	-169,15
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	360,5
Punt d'inflamabilitat (ºC)	-103,71
Punt d'autoignició (ºC)	490
Densitat relativa	0,98
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	$5{,}21 \cdot 10^4$

Aquest es troba en fase gas, en condicions normals i és lleuger, incolor i amb olor dolça. L'etilè és una substància inflamable, que pot estar a pressió amb risc d'explosió i pot irritar

les vies respiratòries i d'altres perills per la salut d'aquells que estan en contacte amb aquesta substància.

Figura 1.23. *Pictogrames dels perills de l'etilè.*

1.2.1.2 Benzè

El benzè és un compost orgànic format per 6 àtoms de carboni i 6 d'hidrogen en forma d'anell.

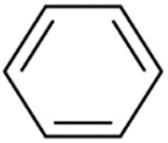


Figura 1.24. *Estructura molecular del benzè.*

El benzè es pot trobar en el petroli cru i com a producte o subproducte en el procés de refineria. A la indústria és emprat com a dissolvent, i com a reactiu per a diferents productes químics. També és utilitzat en la producció de plàstics, nylon i fibres sintètiques.

Taula 1.7. *Propietats del benzè.*

Fòrmula molecular	C_6H_6
Massa molecular (g/mol)	78,11
Punt de fusió a P atm (ºC)	5,558
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	80,08
Punt d'inflamabilitat (ºC)	-11,0
Punt d'autoignició (ºC)	498
Densitat relativa	2,7
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	94,8

És un líquid incolor i dolç que tendeix a evaporar-se a la atmosfera. És explosiu i molt perillos per la salut.

Figura 1.25. *Pictogrames dels perills del benzè.*

1.2.1.3 Toluè

El toluè és un compost orgànic format per un grup benzè unit a un grup metà per enllaç simple.

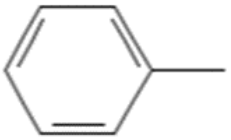


Figura 1.26. *Estructura molecular del toluè.*

Es pot trobar naturalment a la natura en el cru del petroli. També se'n produeix en el procés de refinament del petroli. En aquesta planta industrial, aquest compost no és més que una impuresa que s'haurà de separar de la matèria primera, el benzè. Això no obstant, s'utilitza per a altres processos com per exemple per millorar l'octanatge de la benzina o com a solvent.

Taula 1.8. *Propietats del toluè.*

Fòrmula molecular	C_7H_8
Massa molecular (g/mol)	92,14
Punt de fusió a P atm (ºC)	-94,90
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	110,6
Punt d'inflamabilitat (ºC)	4,4
Punt d'autoignició (ºC)	480
Densitat relativa	3,1
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	28,4

El toluè és un líquid transparent amb una olor característica. És inflamable i molt tòxic per a la salut d'aquells que estan en contacte amb aquesta substància.

Figura 1.27. *Pictogrames dels perills del toluè.*

1.2.1.4 Metà

El metà és un compost orgànic format per un carboni i quatre àtoms d'hidrogen.

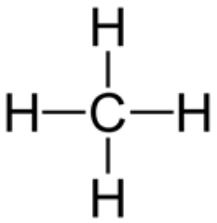


Figura 1.28. *Estructura molecular del metà.*

El metà és el major compost que forma el gas natural. El gas natural es pot trobar a la natura en dipòsits naturals d'hidrocarburs. Aquest és utilitzat àmpliament com a combustible industrial i també domèstic. El metà també s'empra per a processos industrials, per produir compostos químics com per exemple metanol, àcid acètic, etc.

Taula 1.9. *Propietats del metà.*

Fòrmula molecular	C_1H_4
Massa molecular (g/mol)	16,04
Punt de fusió a P atm (ºC)	-182,56
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	-161,5
Punt d'inflamabilitat (ºC)	-188
Punt d'autoignició (ºC)	537
Densitat relativa	0,6
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	$4{,}66 \cdot 10^5$

El metà és un gas que pot ser inflamable. En cas d'inflamar-se pot alliberar gasos tòxics i pot ser explosiu al estar emmagatzemat a pressió.

Figura 1.29. *Pictogrames dels perills de l'etilè.*

1.2.1.5 Età

L'età és compost orgànic format per dos àtoms de carboni units per un enllaç simple.

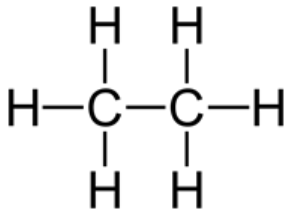


Figura 1.30. *Estructura molecular de l'età.*

En aquesta planta, l'età arriba com a impuresa en l'etilè. No obstant, és un compost àmpliament utilitzat a la indústria. L'età es fa servir com a refrigerant, sent una alternativa als refrigerants clàssics i més contaminants. També s'utilitza com a combustible. Com a matèria primera, el seu principal ús a la indústria és per a formar etilè per craqueig per vapor.

Taula 1.10. *Propietats de l'età.*

Fòrmula molecular	C_2H_6
Massa molecular (g/mol)	30,07
Punt de fusió a P atm(ºC)	-182,8
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	-88,6
Punt d'inflamabilitat (ºC)	-135
Punt d'autoignició (ºC)	472
Densitat relativa	1,05
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	$3{,}15 \cdot 10^4$

L'età és un gas que pot ser inflamable. En cas d'inflamar-se pot alliberar gasos tòxics i conté gas a pressió.

Figura 1.31. *Pictogrames dels perills de l'etilè.*

1.2.2 Catalitzador

1.2.2.1 Zeolita ZSM-5

Les zeolites són estructures sòlides cristal·lines fetes de silici, alumini i oxigen que formen un sòlid amb cavitats i canals a l'interior on poden residir cations, aigua i/o petites molècules. Això fa que tingui una alta àrea d'intercanvi entre la fase fluida i la fase sòlida on es produeix la reacció química. S'utilitzen en aquest procés com a catalitzador de les reaccions, tant d'alquilació com de transquilació. [20]

No hi ha informació disponible sobre les seves propietats.

1.2.3 Producte d'interès

1.2.3.1 Etilbenzè

L'etilbenzè és un compost orgànic format per dos un grup benzè al que s'uneix un grup etil.

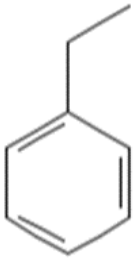


Figura 1.32. *Estructura molecular de l'etilbenzè.*

La seva producció està lligada a la producció d'estirè i el polímer corresponent, el poliestirè. Aquest s'utilitza per fer plàstics, resines etc. Es pot formar un plàstic dur i sòlid que es sol usar per fer productes que requereixin certa transparència com per exemple envasos per la indústria alimentària o equips pel laboratori.

Taula 1.11. *Propietats de l'etilbenzè.*

Fòrmula molecular	C_8H_{10}
Massa molecular (g/mol)	106,16
Punt de fusió a P atm (ºC)	-94,95
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	136,2
Punt d'inflamabilitat (ºC)	12,8

Punt d'autoignició (ºC)	432
Densitat relativa	3,66
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	9,6

És un líquid inflamable, incolor i de olor similar al de la gasolina. Té gran afinitat per l'aire pel que és capaç de formar atmòsferes explosives. És molt perillòs per la salud

Figura 1.33. *Pictogrames dels perills de l'etilbenzè.*

1.2.4 Subproductes

1.2.4.1 Dietilbenzè

El dietilbenzè és un compost orgànic format per un benzè al que s'uneixen dos grups etil.

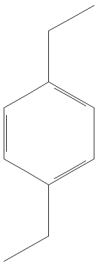


Figura 1.34. *Estructura molecular del dietilbenzè.*

La seva producció està lligada a la de l'etilbenzè, ja que es produeix en la mateixa reacció i amb unes condicions semblants. Tot i així, aquest producte té alguns usos i aplicacions. Pot ser utilitzat com a dissolvent orgànic, com per exemple a la indústria petroquímica es pot utilitzar per acabar de refinar alguns productes. A la taula 1.12 es pot veure les seves propietats.

Taula 1.12. *Propietats de l'etilbenzè.*

Fòrmula molecular	C_8H_{10}
Massa molecular (g/mol)	134,2
Punt de fusió a P atm (ºC)	-75,0
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	182
Punt d'inflamabilitat (ºC)	56
Punt d'autoignició (ºC)	395
Densitat relativa	0,86
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	1,06

Es pot descomposar produint fums tòxics i corrosius. És inflamable i perillòs per al medi ambient.

Figura 1.35. *Pictogrames dels perills del dietilbenzè.*

1.2.4.2 Propilè

El propilè és un hidrocarbur format per tres àtoms de carboni units a sis àtoms d'hidrogen.

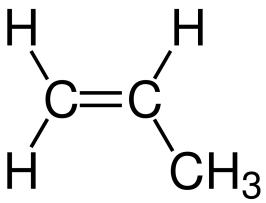


Figura 1.36. *Estructura molecular del etilbenzè.*

És un dels productes químics més utilitzats a la indústria química. És un dels productes principals obtinguts en el refinament de petroli. Es fa servir com a monòmer en la producció de polipropilè. A part de la producció del polipropilè, també s'empra per a altres fins com per exemple com a combustible, com a refrigerant o com a reactiu per a la producció d'altres productes químics com per exemple l'acetona.

Taula 1.13. *Propietats del etilbenzè.*

Fòrmula molecular	C_3H_6
Massa molecular (g/mol)	42,08
Punt de fusió a P atm (ºC)	-185,30
Punt d'ebullició a P atm (ºC)	-47,68
Punt d'inflamabilitat (ºC)	-108
Punt d'autoignició (ºC)	455
Densitat relativa a l'aire	1,46
Pressió de vapor a 25º C (mmHg)	$8{,}69 \cdot 10^3$

És un gas molt inflamable de olor similar al de la gasolina. Pot contenir gas a pressió.

Figura 1.37. *Pictogrames dels perills del propilè.*

1.3. Descripció del procés productiu

1.3.1. Selecció del procés de fabricació

La selecció del procés productiu que es du a terme a la planta pot comprometre la viabilitat del projecte ja que hi ha una sèrie de variables que depenen del procés implementat, com per exemple, el conjunt d'equips requerits i el cost que comporten, la necessitat de serveis com ara bé l'electricitat o també l'aprofitament energètic que es pot aconseguir al procés. Tot això implica una variació de la despesa econòmica necessària per mantenir el procés i alhora dels beneficis obtinguts amb la planta.

En aquesta planta de BenzEt S.L. es durà a terme un procés d'alquilació del benzè amb etilè per tal de produir etilbenzè. Tal com s'ha esmentat anteriorment a l'apartat 1.1.4 actualment a la indústria no s'utilitza un únic procés d'alquilació sinó que depenent de la fase dels components al reactor o del catalitzador utilitzat en aquest hi ha diverses variacions.

D'una banda, els processos de producció d'etilbenzè on s'utilitza la catàlisis àcida de Lewis són rotundament descartats degut a la generació de corrents residuals que el seu

tractament té un cost massa elevat i a que hi ha una elevada tendència a la corrosió severa dels equips i les canonades.

D'altra banda, es valoren els processos que es catalitzen amb zeolites ja que s'aconsegueixen valors de conversió similars sense perill de corrosió ni efluents difícils de tractar. Aleshores es poden diferenciar tres tipus de processos, els que es donen en fase vapor, líquida o mixta.

Per tal de seleccionar un dels tres processos s'ha tingut en consideració l'alimentació d'etilè que es proporciona a la planta, sent aquest etilè diluït al 50%, per tant, no de grau polimèric. Pel cas dels processos on la reacció es dóna en fase líquida l'aliment d'etilè de la planta és de grau polimèric principalment. En canvi, els processos en fase vapor o fase mixta proporcionen millors resultats amb l'ús d'etilè diluït que el procés anterior.

Finalment, tot i que el procés realitzat en fase mixta permet unes condicions d'operació més suaus al reactor que en fase vapor, s'ha decidit implementar el procés amb reacció en fase vapor ja que és el procés més implementat a la indústria i tot i haver una pressió i temperatura major al reactor. A més a més, hi ha poca documentació respecte el catalitzador utilitzat i els equips requerits al procés en fase mixta i és un procés molt poc utilitzat a nivell mundial.

1.3.2. Diagrama de blocs

Es presenta el diagrama de blocs del procés de fabricació d'etilbenzè a la planta de BenzEt S.L, d'aquesta manera es facilita la comprensió del procés productiu que es du a terme a la planta i també així s'entén més fàcilment el funcionament dels equips, les matèries primeres requerides i els productes obtinguts.

A la *Figura 1.38* es pot observar el diagrama de blocs on es mostra de forma generalitzada quins són els equips destacables del procés, els principals corrents que connecten els equips i també les substàncies que són presents en aquests corrents.

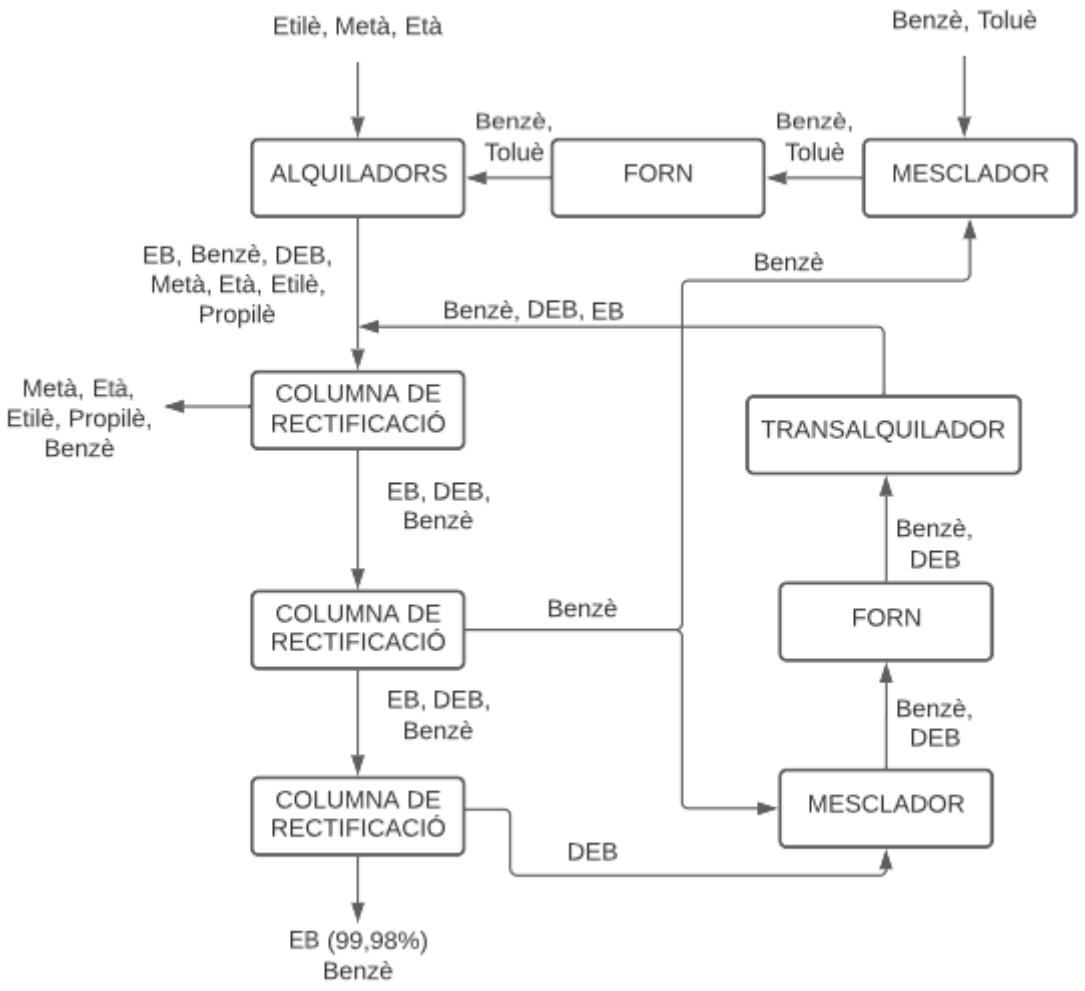


Figura 1.38. *Diagrama de blocs del procés.*

L'anàlisi del diagrama de blocs presentat permet realitzar una descripció general del procés.

Primerament, el corrent de benzè i toluè, provinent de tancs d'emmagatzematge de reactius, s'incorpora al procés entrant a un mesclador estàtic on també hi entra un corrent de benzè recirculat. El corrent de sortida del mesclador s'introdueix a un forn per tal de condicionar la temperatura d'aquest i també així introduir-lo als reactors d'alquilació en fase vapor.

Un altre corrent que també s'introdueix a la entrada del reactor és el format per etilè, metà i età, provinent ídem d'un tanc pulmó. Aquest no entra totalment al primer reactor sinó que es divideix en tres corrents diferents per tal d'afegir cada part a la entrada de cadascun dels reactors d'alquilació utilitzats al procés. El corrent de benzè i d'etilè no entren independentment al reactor sinó que ambdós corrents s'uneixen i posteriorment s'utilitzen mescladors de Venturi previs a l'entrada de cada reactor.

El bloc d'alquiladors està conformat per tres reactors multitubulars adiabàtics en sèrie on té lloc la reacció d'alquilació, obtenint així el producte desitjat, l'etilbenzè juntament amb el subproducte no desitjat, el dietilbenzè, el qual es forma amb una relació 1:24 (s'obté un mol de dietilbenzè per cada 24 mols d'etilbenzè produits). Els reactors operen a temperatures aproximades als 440ºC i pressions al voltant de les 19 atm, tot i tenir volums diferents d'entre 233 m^3 i 282 m^3, a més tots ells compten amb catalitzador ZSM-5 immobilitzat a les parets dels tubs, fent que es produeixi la reacció i augmenti la conversió al haver-hi més superfície de contacte del fluid amb el llit fix de catalitzador. Aleshores al corrent de sortida de l'últim reactor trobem etilbenzè, propilè i dietilbenzè formats i també reactius no reaccionats com per exemple etilè i benzè, a més dels gasos com l'età i el metà.

A continuació, s'inicia la fase de purificació i recuperació del producte d'interès mitjançant tres columnes de destil·lació en sèrie. A la primera columna s'elimina completament l'età, el metà, l'etilè no reaccionat i una petita part de benzè per caps, sortint per cues la resta de benzè juntament amb tot l'etilbenzè i el dietilbenzè formats. A la segona columna es recupera per caps pràcticament el 100% del benzè no reaccionat i per cues l'etilbenzè juntament amb el dietilbenzè format. Finalment, a la tercera columna de destil·lació es separa completament el corrent de cues de la segona columna, obtenint un corrent d'etilbenzè quasi pur amb petites impureses de benzè (0,02% molar) i d'altra banda un corrent pur del dietilbenzè format. Cal afegir també que la primera columna compta amb un altre corrent d'entrada amb etilbenzè i benzè recuperats del procés.

El corrent de benzè recuperat de la segona columna de destil·lació es divideix en dos corrents, una part es destina a mesclar-se amb el corrent de benzè i toluè provinent dels tancs d'emmagatzematge, ja esmentat anteriorment. L'altra part també va a parar a un mesclador per tal de mesclar-se amb el corrent de cues de la tercera columna, el corrent de dietilbenzè (el principal subproducte del procés). El corrent de sortida d'aquest mesclador s'introdueix en un forn per tal d'augmentar la seva temperatura fins els 500 ºC i així poder entrar a un reactor on es porta a terme una transalquilació, d'aquesta manera a partir del dietilbenzè i del benzè s'obté més etilbenzè. Aquest etilbenzè format es recircula a la primera columna de destil·lació per tal de recuperar tant el benzè com l'etilbenzè obtingut al transalquilador en la segona columna.

Cal afegir que el corrent de gasos obtinguts per caps a la primera columna de destil·lació té una gran varietat d'usos a la planta. D'una banda, s'utilitzarà com a combustible del forn i de la torxa, aquesta última utilitzada pel tractament de residus gasosos provinents

d'elements de seguretat. D'altra banda, la resta del corrent es fa servir en el sistema de cogeneració per obtenir l'energia necessària pel funcionament de la planta i d'ón s'obté un corrent de productes de combustió (diòxid de carboni i vapor d'aigua), els quals s'introdueixen a una torre d'absorció de CO_2 per reduir les emissions a l'atmosfera d'aquest component. D'aquesta manera hi ha un aprofitament total dels corrents de sortida del procés.

1.3.3. Diagrama de procés

A continuació es presenta el diagrama de procés de la planta a la *Figura 1.39,* on es mostren les línies principals del procés productiu i els diferents equips presents a la planta.

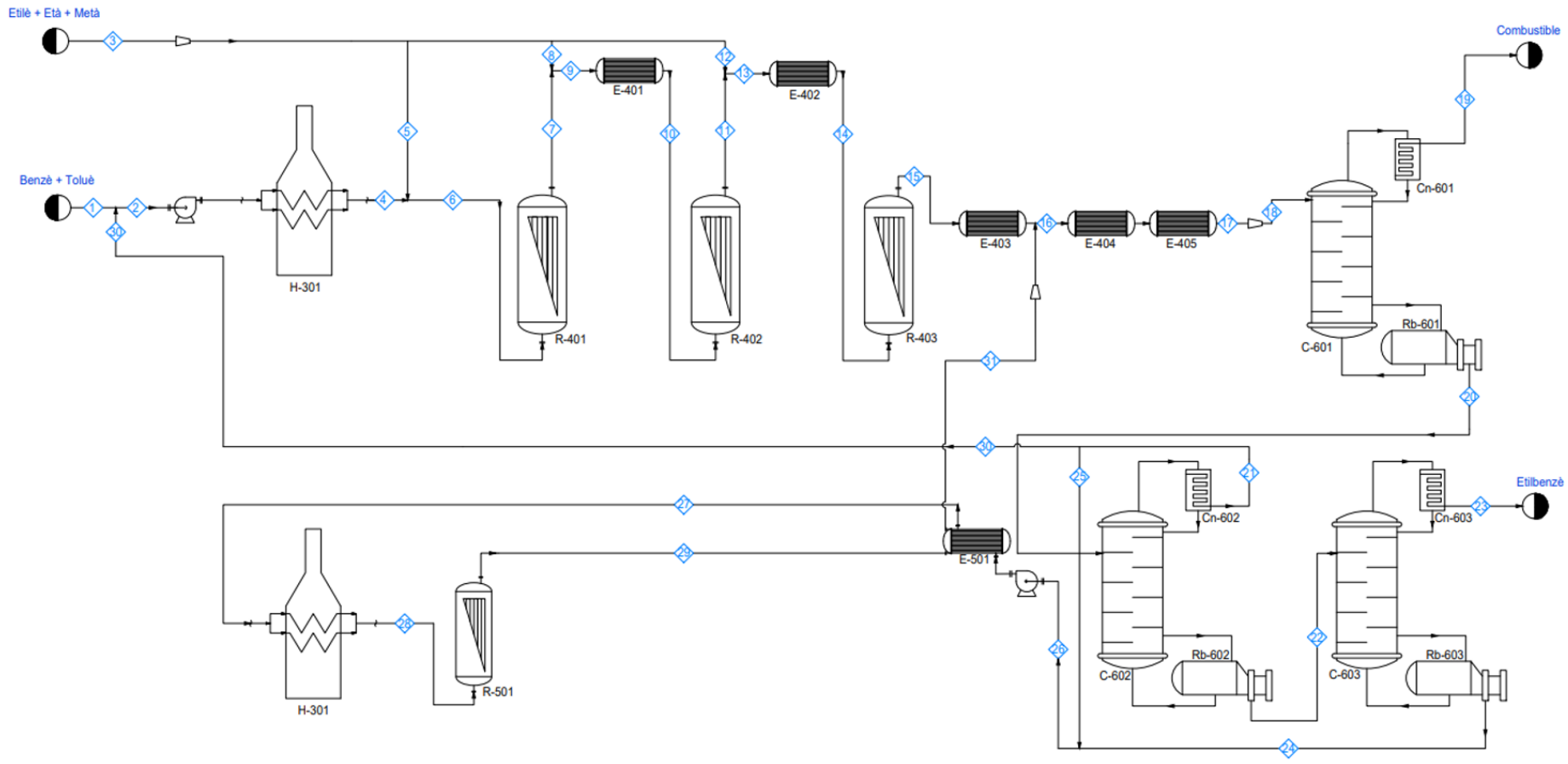


Figura 1.39. *Diagrama de procés de la planta BenzEt S.L.*

1.3.4. Balanços de matèria

En aquest apartat es presenta el balanç de matèria dels corrents numerats al diagrama de procés de la Figura 1.39. A la Taula 1.14, Taula 1.15 i Taula 1.16 es mostren dades com la temperatura, pressió, fracció de vapor, cabal màssic i cabal molar del corrent i també de tots els components que conformen cada corrent.

Taula 1.14. *Propietats com la fracció de vapor, temperatura, pressió, cabal molar total i per component i cabal màssic pels corrents 1 al 10 de la Figura 1.31.*

Propietat/corrent	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fracció de vapor	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Temperatura (ºC)	25,00	56,50	119,00	447,50	25,00	410,00	475,70	25,00	440,00	401,40
Pressió (kPa)	101,30	101,30	10000,00	1985,00	1985,00	1985,00	1970,00	1970,00	1970,00	1947,78
Cabal molar (Kmol/h)	430,62	1001,71	888,93	1001,71	888,93	1268,39	1139,50	311,13	1450,63	1450,63
Cabal màssic (kg/h)	33685,83	78364,65	23338,02	78364,65	23338,02	85366,05	85364,24	8168,31	93532,55	93532,55
Cabal per components (kmol/h)										
Età	0,00	0,00	266,68	0,00	266,68	80,00	80,00	93,34	173,34	173,34
Etilè	0,00	0,00	444,47	0,00	444,47	133,34	0,94	155,56	156,51	156,51
Metà	0,00	0,00	177,79	0,00	177,79	53,34	53,34	62,23	115,56	115,56
Benzè	427,06	995,61	0,00	995,61	0,00	995,61	875,40	0,00	875,40	875,40
Toluè	3,56	3,56	0,00	3,56	0,00	3,56	0,03	0,00	0,03	0,03
Etilbenzè	0,00	2,54	0,00	2,54	0,00	2,54	121,15	0,00	121,15	121,15
Propilè	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,54	0,00	3,54	3,54
Dietilbenzè	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,11	0,00	5,11	5,11

Taula 1.15. *Propietats com la fracció de vapor, temperatura, pressió, cabal molar total i per component i cabal màssic pels corrents 11 al 20 de la Figura 1.31.*

Propietat/corrent	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Fracció de vapor	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,32	0,32	1,00	0,00
Temperatura (ºC)	465,90	25,00	434,90	408,20	467,60	382,40	65,11	51,51	12,27	92,99
Pressió (kPa)	1932,78	1932,78	1932,78	1901,80	1886,80	1850,00	1795,00	300,00	300,00	101,30
Cabal molar (Kmol/h)	1307,74	311,13	1618,86	1618,86	1470,95	1717,19	1717,19	1717,19	480,03	1237,16
Cabal màssic (kg/h)	93533,49	8168,31	101701,79	101701,79	101702,71	124215,63	124215,63	124215,63	12457,59	111758,04
Cabal per components (kmol/h)										
Età	173,34	93,34	266,68	266,68	266,68	266,68	266,68	266,68	266,68	0,00
Etilè	13,59	155,56	169,16	169,16	21,25	21,25	21,25	21,25	21,25	0,00
Metà	115,56	62,23	177,79	177,79	177,79	177,79	177,79	177,79	177,79	0,00
Benzè	749,47	0,00	749,47	749,47	630,67	760,56	760,56	760,56	10,73	749,83
Toluè	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etilbenzè	230,15	0,00	230,15	230,15	319,84	435,64	435,64	435,64	0,03	435,62
Propilè	3,56	0,00	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	3,56	0,00
Dietilbenzè	22,06	0,00	22,06	22,06	51,17	51,71	51,71	51,71	0,00	51,71

Taula 1.16. *Propietats com la fracció de vapor, temperatura, pressió, cabal molar total i per component i cabal màssic pels corrents 21 al 31 de la Figura 1.31.*

Propietat/corrent	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
Fracció de vapor	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42	1,00	1,00	0,00	1,00
Temperatura (ºC)	78,88	139,10	136,00	170,60	78,88	120,00	251,00	491,70	494,00	78,88	300,00
Pressió (kPa)	101,30	101,30	101,30	101,30	101,30	101,30	2000,00	2000,00	1990,00	101,30	1980,00
Cabal molar (Kmol/h)	752,30	484,86	419,99	64,87	181,98	246,85	246,85	246,85	246,23	570,32	246,23
Cabal màssic (kg/h)	58856,21	52901,82	44565,17	8336,65	14237,32	22573,97	22573,97	22573,97	22512,92	44618,89	22512,92
Cabal per components (kmol/h)											
Età	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etilè	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Metà	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Benzè	748,95	0,88	0,88	0,00	181,17	181,17	181,17	181,17	129,89	567,78	129,89
Toluè	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Etilbenzè	3,34	432,27	419,10	13,17	0,81	13,98	13,98	13,98	115,80	2,54	115,80
Propilè	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Dietilbenzè	0,00	51,71	0,02	51,69	0,00	51,69	51,69	51,69	0,54	0,00	0,54

1.4. Especificacions i necessitats de serveis de planta

La planta requerirà de uns serveis auxiliars per al correcte funcionament del procés. Aquests serveis van de dels més essencials com l'aigua de xarxa pel simple ús dels treballadors fins als més específics com pot ser la necessitat d'un fluid refrigerant a molt baixa temperatura pel funcionament d'una torre de destil·lació. Alguns seran obtinguts directament a dintre de la planta mentre que d'altres seran obtinguts de fonts externes.

1.4.1 Aigua

L'aigua és un be indispensable en aquesta planta. S'utilitza en la gran majoria d'àrees del procés. A continuació es descriuen els tipus d'aigua que s'utilitzen a la planta.

1.4.1.1 Aigua de xarxa

Aquest tipus de servei correspon a l'aigua que es proveeix per una empresa externa. Aquesta aigua es farà servir per a molts usos diferents. Principalment, serà l'aigua base a partir de la que es farà aigua descalcificada que servirà per al bescanvi d'energia. També s'utilitzarà per a molts altres usos més diversos com per l'ús del personal, la neteja de les instal·lacions, com a fluid contra incendis...

S'ha calculat que els requeriments d'operació d'aigua de xarxa són 54,2 m^3/h.

1.4.1.2 Aigua potable

En aquesta planta s'han habilitat diversos punts amb fonts d'aigua per garantir la correcta hidratació de tots els treballadors en tot moment.

A més, s'ha proveït d'aigua potable totes les aixetes i dutxes, tant com les dutxes de la zona de laboratoris.

1.4.1.3 Aigua contra incendis

Per garantir la seguretat a aquesta planta i protegir la pròpia planta i l'exterior d'incendis, hi ha una balsa en la nostra planta que conté 6948,67 m^3 d'aigua emmagatzemada per apagar un possible incendi que hi pugui haver. Cal un sistema de bombeig òptim per arribar a tots els llocs de la planta amb una pressió suficient.

1.4.1.4 Aigua descalcificada

Una gran quantitat d'aigua serà utilitzada pel procés en bescanviadors de calor i d'altres equips. L'aigua de xarxa, que és la que s'obté directament a la parcel·la té una gran quantitat de calci i magnesi, que acaba causant incrustacions en el sistema de canonades i equips, empitjorant molt el seu funcionament i reduint la seva vida útil. Per tant, s'ha decidit de fer ús un procés de descalcificació per intercanvi iònic que retingui els ions del calci i magnesi. En concret, l'aigua es tracta mitjançant dues descalcificadores de l'empresa CULLIGAN i model ultraline HB 1550. Aquestes, es van saturant amb el seu funcionament i és necessari regenerar-les. En el procés es treballa en continu, per tant, caldran dues columnes perquè quan sigui necessari regenerar-ne una, estigui treballant l'altra. En total, es necessita un cabal de 54,2 m^3/h.

1.4.1.5 Aigua de refrigeració

Com s'ha comentat anteriorment, una part important de l'aigua de xarxa serà utilitzada pels requeriments d'aigua de refrigeració. Això és degut a que s'utilitzarà una torre de refrigeració de circuit obert per a refredar l'aigua calenta. Les necessitats del procés requereixen aigua de refrigeració a 30ºC que s'escalfarà fins a 40ºC. Les necessitats d'aigua de refrigeració per cada equip es poden trobar a la taula 1.17.

Taula 1.17. *Requeriments d'aigua de xarxa.*

Equip	Necessitat d'aigua de refrigeració (kg/s)
E-405	241,5
Cd-602	268,1
Cd-603	192,8
E-601	49,86
Total	**752,3**

1.4.2 Aigua glicolada

Un altre servei necessari és l'ús d'un chiller per tal de generar un corrent de refrigerant a -10ºC. En aquest cas, el refrigerant no és l'aigua sinó que és aigua amb un 30% d'etilenglicol per tal de que aquesta no es congeli. S'ha decidit d'utilitzar aquest refrigerant perquè pel rang de temperatures d'operació -10ºC / 0ºC és el que dóna millors resultats i no es solidifica. El cabal que circula pel circuit és de 91,4 kg/s.

1.4.3 Oli tèrmic

A la planta també s'utilitzarà oli tèrmic. Aquest servirà per bescanviar calor, ja que es requereix que aquest pugui operar a altes temperatures. Pels requeriments de la planta s'ha decidit d'utilitzar l'oli tèrmic Therminol VP-1. Aquest s'usarà en circuit tancat, pel que un cop s'hagi posat en marxa el circuit, no caldrà haver de comprar-ne més.

En concret, aquest oli operarà en dos circuits tancats. En els dos es trobarà sempre en fase líquida. En un es treballarà a temperatures de fins a 350ºC a 10bar de pressió i en l'altre es treballarà a temperatures de fins a 300ºC a 4bar de pressió.

1.4.4 Aire comprimit

Les vàlvules de la planta s'accionen a través de l'aire comprimit. És per això que es requereix una gran quantitat d'aquest servei per a poder controlar les vàlvules de tot el procés. En concret, es pot requerir d'una demanda màxima de 147 m^3/h d'aire comprimit a 8 bar de pressió per accionar 49 vàlvules. L'aire es comprimirà mitjançant un compressor.

1.4.5 Nitrogen

El nitrogen és utilitzat en la nostra planta per la inertització dels tancs i d'altres equips. S'ha decidit d'inertitzar els nostres tancs perquè els compostos a emmagatzemar són benzè i toluè, ambdós inflamables. La inertització consisteix a fer que el gas que hi ha dintre dels tancs sigui nitrogen pur, sense oxigen, per tant, no es pot produir cap reacció de combustió perquè no hi ha agent oxidant. Per la resta d'equips passa el mateix. En la posada en marxa es fa circular nitrogen per tal de que no quedi oxigen en cap equip.

1.4.6 Combustible

En el cas del combustible, caldrà una certa quantitat com a font d'energia pel forn. Aquest s'utilitzarà en el forn per escalfar el corrent d'entrada fins a la temperatura òptima per entrar als reactors d'alquilació i de transquilació. El combustible que s'usarà és el mateix que s'obté a caps de la columna de destil·lació C-601. L'altre part del combustible que s'obté al procés, servirà per generar electricitat mitjançant una turbina de gas. El combustible que s'obté a la planta té la següent composició:

Taula 1.18. *Composició del combustible utilitzat.*

Component	% Fracció Molar
Età	55,56
Etilè	4,43
Metà	37,04
Benzè	2,23
Propilè	0,74

1.4.7 Electricitat

L'electricitat és un servei essencial en aquesta planta. S'utilitza per fer funcionar tots els equips que necessiten energia en forma d'electricitat com per exemple bombes, compressors i d'altres. A part de tots els equips essencials per al procés, també cal per a poder tenir il·luminació, per poder tenir ordinadors a les oficines, etc. L'electricitat arriba a la planta a través de la xarxa pública a 20kV. Per tal d'utilitzar-la amb els equips de la planta, s'ha de passar a baixa tensió mitjançant un transformador. L'electricitat de la xarxa, només es fa servir en la posada en marxa de la planta o després d'una aturada. Per si de cas hi hagués un error en el subministrament elèctric de la xarxa pública, s'ha decidit de tenir un grup electrogen que gasta combustible en forma de gasoil per transformar-la en electricitat i poder seguir amb la producció. Aquest grup electrogen només proveeix l'energia als equips crítics, que són els necessaris per a mantenir en operació el procés.

1.5. Constitució de la planta

En aquest apartat es presenten les diverses zones designades a la planta i també com es distribueixen aquestes al llarg de la parcel·la. També es descriu el tipus d'organització empresarial que segueix la planta industrial, estimant alhora la plantilla de treballadors necessària per tal que la planta operi en condicions normals.

1.5.1. Descripció qualitativa de la planta

A la *Figura 1.40* es presenta la distribució i la divisió de la parcel·la de BenzEt S.L. en les diferents zones establertes, on cada àrea es destina a una funció concreta.

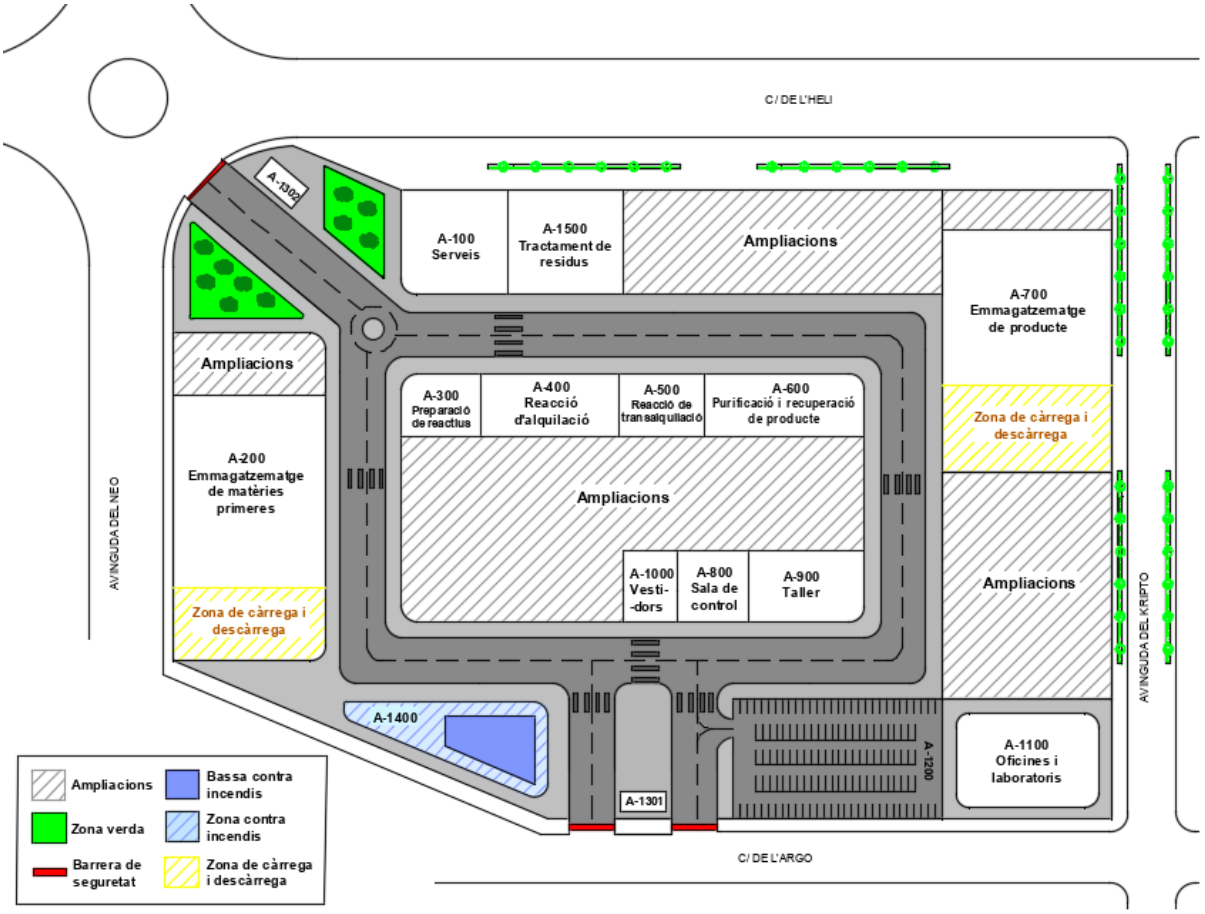


Figura 1.40. *Layout de la planta de BenzEt S.L.*

1.5.2. Àrees de la planta

A continuació es descriuen els equips presents i les funcions de les diferents àrees de la planta, les quals es mostren a la *Figura 1.40*.

1.5.2.1. A-100: Serveis

Àrea on es subministren els diferents serveis de planta requerits per les diverses àrees implicades en el procés productiu.

En aquesta zona es troben un seguit d'equips com, per exemple, un tanc d'emmagatzematge de nitrogen líquid amb el corresponent evaporador per tal d'obtenir nitrogen gas útil per inertitzar equips com tancs d'emmagatzematge i reactors.

També es situen tres torres de refrigeració per proporcionar aigua de refrigeració a 30ºC al alguns bescanviadors de calor. Un altre equip present és el chiller, el qual s'encarrega de refredar un altre fluid refrigerant utilitzat a altres bescanviadors de calor, en concret, aigua

glicolada que es refreda fins a -10 ºC. A més, s'ha instal·lat una descalcificadora per l'aigua de refrigeració utilitza a les torres de refrigeració de tal manera que es redueix la calç i altres sals, reduint així les inscrustracions de les canonades i equips com bescanviadors de calor.

S'ha instal·lat també un sistema de cogeneració amb una turbina de gas la qual proporciona la totalitat de l'energia requerida per la planta, a més també es troba el grup electrogen que proporciona electricitat en cas de fallada i un transformador elèctric per poder suministrar a la planta energia de la xarxa pública.

Finalment es troben els compressors d'aire i el tanc pulmó d'aire comprimit, fet servir a totes les vàlvules de control pneumàtiques per tal d'accionar-les.

1.5.2.2. A-200: Emmagatzematge de matèries primeres

En aquesta zona principalment es troben els 9 tancs d'emmagatzematge de benzè líquid, carregats a través de la zona de descàrrega contigua a l'àrea. Aquests tenen els seus corresponents cubetos i estan ubicats complint amb les distàncies de seguretat pertinents.

D'altra banda, també es situa l'entrada d'etilè a la planta mitjançant la canonada d'una empresa externa i el tanc pulmó d'etilè que nodreix la planta de la matèria primera. A més, s'aconsegueix que el corrent de sortida d'etilè del tanc pulmó tingui la pressió òptima a través de cambres d'expansió per poder operar correctament el reactor.

La ruta seguida pels camions que transporten benzè cap a l'àrea A-200 comença per l'entrada esquerra de la zona de control d'accés A-1301, entrada dedicada exclusivament al control d'accés de camions portadors de matèria primera, fins a la zona d'àrea de càrrega i descàrrega de l'àrea A-200.

1.5.2.3. A-300: Preparació de reactius

A l'àrea de preparació de reactius es condicionen els reactius que posteriorment són requerits tant per la reacció d'alquilació com per la reacció de transalquilació.

L'acondicionament de reactius es realitza adquirint la temperatura òptima abans d'introduir-se als reactors. En aquesta zona de la planta es situa el forn encarregat d'escalfar el corrent de benzè que posteriorment és transportat als reactors per dur a terme la reacció d'alquilació i també per escalfar el corrent de benzè i dietilbenzè necessari per a la transalquilació.

1.5.2.4. A-400: Reacció d'alquilació

En aquesta àrea té lloc la reacció d'alquilació del benzè amb l'etilè per tal de formar etilbenzè, tot i també formar-se subproductes com el propilè i el dietilbenzè. A la zona A-400 es troben 3 reactors catalítics de llit fix multitubulars i adiabàtics en sèrie amb un bescanviador de calor entre cadascun per tal de fer entrar els reactius a la temperatura òptima. Després del tercer reactor també es situen 3 bescanviadors de calor en sèrie els quals aprofiten l'energia calorífica del corrent de sortida del reactor per aportar-la en altres punts del procés.

1.5.2.5. A-500: Reacció de transalquilació

Es destina una àrea a la reacció de transalquilació on el corrent de dietilbenzè i benzè prèviament escalfats al forn de l'àrea A-300 reaccionen i s'obté etilbenzè, el producte d'interès. En aquesta zona es troba únicament el reactor de transalquilació i un bescanviador de calor de preescalfament del corrent que entra al forn.

1.5.2.6. A-600: Purificació i recuperació de producte

En aquesta àrea es purifica el corrent de sortida del tercer reactor un cop travessa els 3 bescanviadors de calor, d'aquesta manera s'augmenta el grau de puresa de d'etilbenzè mitjançant tres columnes de destil·lació en sèrie on s'extreuen completament components com l'etilè no reaccionat, el dietilbenzè format, els gasos incompressibles com l'età o el metà, també el propilè format i pràcticament tot el benzè del corrent.

1.5.2.7. A-700: Emmagatzematge de producte

Es troben els tancs d'emmagatzematge de producte acabat, on a l'àrea de càrrega que es troba arran d'aquesta zona els camions cisterna recullen el producte per a la seva corresponent distribució. De la mateixa manera que a l'àrea A-200, els tancs tenen els seus cubetos i estan ubicats seguint les mesures de seguretat pertinents.

La ruta que segueixen els camions que carreguen el producte és diferent a la que segueixen els camions que descarreguen matèria prima ja que tenen diferents entrades, de tal manera que no hi puguin haver confusions ni possibles creuaments. Els primers accedeixen per l'entrada superior esquerra, passant per l'àrea de control d'accés A-1302, anant a carregar el producte fins l'àrea de càrrega de l'A-700 i retornant pel mateix camí.

1.5.2.8. A-800: Sala de control

Gràcies a que el procés es realitza en continu aquest està automatizat en gran mesura, permetent l'exitència de la sala de control, la zona on els treballadors controlen els diferents paràmetres del procés per tal d'assegurar el correcte funcionament i operació de la planta, a més de poder solucionar els problemes que puguin sorgir al llarg de la vida útil de la planta. Es disposa d'ordinadors per poder controlar i seguir el procés en tot moment.

1.5.2.9. A-900: Taller

Aquesta àrea és el taller on es realitzen reparacions a equips, instrumentació i maquinària o també el manteniment d'aquests. Els operaris de manteniment de la planta treballen principalment en aquesta zona.

1.5.2.10. A-1000: Vestidors

Zona destinada a que tots els treballadors de la planta es posin la corresponent roba de treball d'acord amb la seva posició, excepte els que treballen a l'àrea A-1100, els quals tenen un vestidor propi.

1.5.2.11. A-1100: Oficines i laboratoris

Oficines destinades als treballadors d'administració, recursos humans, planificació de producció, seguretat, enginyers de procés i compres, vendes i logística. A més, compta amb laboratoris on es troba control de qualitat per tal de verificar la qualitat exigida de les matèries primeres rebudes i del producte acabat produït. També compta amb àrea social com un menjador i sala comú.

1.5.2.12. A-1200: Aparcament

Zona de pàrquing destinada únicament pels treballadors de la planta i empreses externes subcontractades com per exemple empreses de neteja o manteniment. Aquests accedeixen i surten per la entrada inferior dreta, passant per l'àrea de control d'accés A-1301.

1.5.2.13. A-1301 i A-1302: Sales de control d'accés

Pel cas de l'àrea A-1301, és la zona on es realitza el control d'accés dels treballadors a la planta de BenzEt S.L. i també dels camions que transporten matèria primera, en aquest cas també es revisa la documentació necessària tant al accedir-hi com a la seva sortida.

Pel cas de l'àrea A-1302, es realitza el control d'accés dels camions que transporten producte, revisant també la documentació pertinent al accedir i al abandonar la planta.

1.5.2.14. A-1400: Zona contra incendis

Àrea senyalada com a punt de trobada si hi hagués la necessitat d'evacuació al sonar les alarmes si existís un incendi. A més, ea questa zona es troba també la bassa contra incendis, la qual proporciona una xarxa d'aigua a les diferents boques d'incendi equipades (BIEs i hidrants) instal·lades al llarg de la planta i si també fos necessari el seu ús pels bombers.

1.5.2.15. A-1500: Tractament de residus

Tots els discs de ruptura i les vàlvules de seguretat del procés estan conduïdes cap a l'àrea de tractament de residus on es situa una torxa, que en el cas de ruptura d'un disc o l'obertura d'una vàlvula cremaria el corrent amb una part del combustible, provinent del corrent de caps de la primera columna de destil·lació de l'àrea A-600. D'aquesta manera no s'emeten a l'atmosfera components tòxics sinó diòxid de carboni i aigua, sense arribar a superar els límits d'emissions de CO2 a l'atmosfera.

El corrent resultant de la combustió realitzada al sistema de cogeneració és conduit també cap a aquesta àrea on es siuta una torre d'absorció amb amines MEA amb la qual s'absorbeix pràcticament el total del diòxid de carboni generat amb la combustió, aconseguint així no sobrepassar els límits d'emissions a l'atmosfera de diòxid de carboni.

1.6. Aplicacions del producte

L'etilbenzè és utilitzat a la indústria fonamentalment com a matèria primera d'altres productes químics, on destaca el seu ús per a la producció d'estirè. Actualment es produeixen mundialment 48 milions de tones d'etilbenzè a nivell mundial i aquesta xifra augmenta any rere any degut a que la demanda de productes formats per estirè, principalment del sector de l'automoció, és cada any major.

Més del 98% de la producció d'etilbenzè es destina a la síntesis de l'estirè. Aquest monòmer és el precursor de diversos productes químics com per exemple el poliestirè mitjançant un procés de polimerització, aquest és àmpliament utilitzat per la fabricació de plàstics per embalatges i envasos, de resines, material aïllant o carcasses de productes electrònics, entre d'altres.

D'altra banda, l'etilbenzè també s'utilitza en menor mesura per a altres aplicacions, les quals s'enumeren a continuació.

- Producció de resines d'alta qualitat destinades a la fabricació d'adhesius, recobriments i materials compostos.
- Dissolvent present en la producció d'olis, greixos, resines i també en pintures, laques i vernissos.
- Intermediari per la producció de substàncies com el dietilbenzè, acetofenona, acetat de cel·lulosa, etil-antraquinona, òxid de propilè i alcohol alfa-metil-benzílic.
- Agregat a la indústria del motor i dels combustibles d'aviació, afegint-lo a la gasolina com a agent antidetonant per reduir els sorolls del motor i augmentar l'octanatge. La composició d'etilbenzè als combustibles és del 2% en pes, aproximadament.
- Utilitzat en la recuperació de gas natural, l'etilbenzè es pot injectar al sòl.
- Dissolvent fotorresistiu negatiu a la indústria dels materials semiconductors. El fet que sigui fotorresistiu negatiu implica que és un material sensible a la radiació i al ser exposat aquest absorbeix l'energia òptica convertint-la en energia química per tal d'iniciar una reacció de reticulació polimèrica.

D'aquesta manera, l'ús del etilbenzè comprèn un ampli ventall d'indústries com ara bé les pertanyents al sector de l'electrònica, automoció, embalatge, petroquímica i agricultura.

1.6. Planificació temporal

Un cop aprovat el projecte de la planta de BenzEt S.L. es procedirà a la construcció d'aquesta, és per això que s'ha realitzat una planificació temporal de les diferents tasques a dur a terme mitjançant un diagrama de Gantt. A la *Taula 1.19* es mostren totes les tasques a realitzar, el número de tasca, la durada estimada i les seves tasques predecessores.

A la *Figura 1.41* es mostra el diagrama de Gantt realitzat amb OpenProj corresponent a la informació donada a la *Taula 1.19*. Les tasques crítiques s'identifiquen en color vermell i aquestes conformen el camí crític, el qual representa el conjunt de tasques més llarg i alhora determina la durada del temps de construcció. La resta de tasques que no són crítiques s'identifiquen en color blau.

Taula 1.19. *Abreviacions i nomenclatura de les substàncies implica*

Nº tasca	Descripció	Durada (dies)	Precursors
1	Enginyeria del projecte	120	0
2	Obtenció de llicències d'obra i activitat industrial	90	0
3	Neteja del terreny	30	2

4	Excavacions i cimentació	30	3
5	Demanda d'equips	90	1
6	Instal·lació de subministres	60	1,4
7	Construcció d'aceres i vials	45	3
8	Construcció d'aparcaments	30	4,6
9	Construcció de suports i plataformes	45	4
10	Construcció de balances	20	4,6
11	Construcció àrea A-100 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
12	Construcció àrea A-200 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
13	Construcció àrea A-300 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
14	Construcció àrea A-400 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
15	Construcció àrea A-500 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
16	Construcció àrea A-600 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
17	Construcció àrea A-700 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
18	Construcció àrea A-800	60	4,5,6,9
19	Construcció àrea A-900	60	4,5,6,9
20	Construcció àrea A-1000	60	4,5,6,9
21	Construcció àrea A-1100	60	4,5,6,9
22	Construcció àrea A-1200	60	4,5,6,9
Nº tasca	**Descripció**	**Durada (dies)**	**Precursors**
23	Construcció àrea A-1301	30	4,5,6,9
24	Construcció àrea A-1301	30	4,5,6,9
25	Construcció àrea A-1400	60	4,5,6,9
26	Construcció àrea A-1500 i instal·lació d'equips	60	4,5,6,9
27	Instal·lació de laboratoris, menjador, oficines i vestidors	60	21
28	Disposició de l'àrea contra incendis	10	4,5,6
29	Instal·lació de canonades de serveis	30	11-26

30	Instal·lació de canonades de procés	45	11-26
31	Connexió d'equips i canonades	30	29,30
32	Calibratge d'equips	30	38,39
33	Instal·lació elèctrica	90	31
34	Instal·lació d'elements de control i instrumentació	90	29,30
35	Instal·lació d'elements de seguretat	50	11-26
36	Connexió d'elements de seguretat	30	35
37	Connexió d'elements de control i instrumentació	30	34
38	Aïllament d'equips	30	31
39	Aïllament de canonades i conductes	50	31
40	Assaig d'equips	20	32
41	Pintura	30	40
42	Neteja	25	41

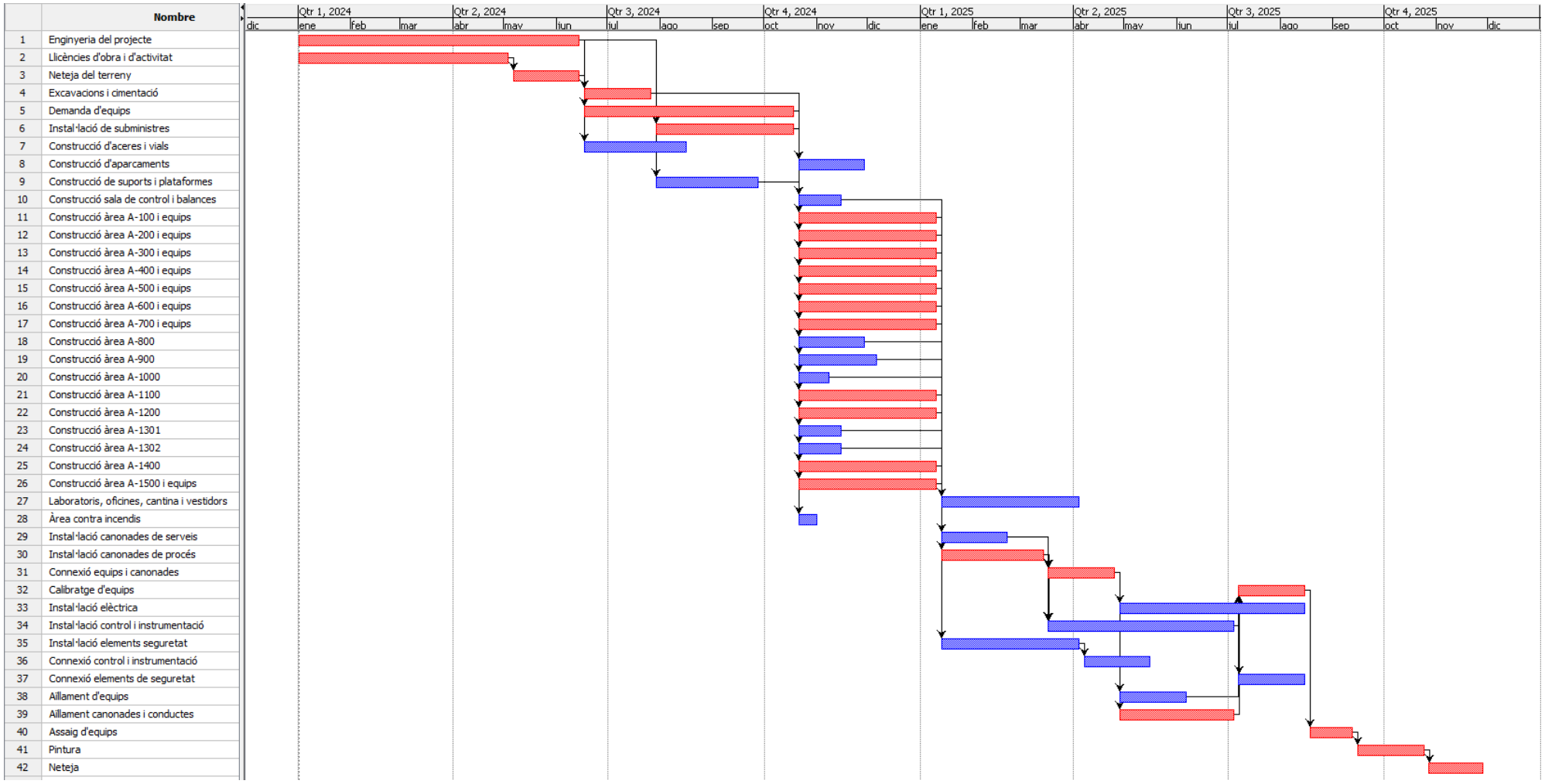


Figura 1.41. *Planificació temporal de la construcció de la planta.*

1.7. Bibliografia

[1] Idescat. El municipi en xifres. (2022, desembre). Recuperat 23 de març de 2023, de https://www.idescat.cat/emex/?id=439076

[2] Agustí, A. (2020, 15 gener). Química sinónimo de Tarragona. Recuperat 1 abril 2023, de https://www.viaempresa.cat/es/economia/quimica-tarragona-empresa-economia-negocio_2108000_102.html

[3] Clima La Canonja. (s. d.). Climate Data. Recuperat 30 de març de 2023, de https://es.climate-data.org/europe/espana/cataluna/la-canonja-493470/

[4] El clima en Tarragona. (2023, març). Weather Spark. Recuperat 2 de abril de 2023, de https://es.weatherspark.com/y/45958/Clima-promedio-en-Tarragona-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o

[5] Ruiz, C. (2023, 22 març). Escalas de Beaufort y Douglas: la fuerza del viento y el oleaje. Náutica Formación. Recuperat 2 d'abril de 2023, de https://nauticaformacion.es/escalas-de-beaufort-douglas-la-fuerza-del-viento-el-oleaje

[6] Evaluación del riesgo sísimico. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. (s. d.). Gencat. Recuperat 2 d'abril de 2023, de https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Descargas/Cartografia-geologica-y-geotematica/Mapas-geofisicos-y-sismicos/Evaluacion-del-riesgo-sisimico

[7] Escala de intensidad sísmica MSK. (s. d.). Recuperat 2 d'abril de 2023, de https://www.udc.es/dep/dtcon/estructuras/ETSAC/Investigacion/Terremotos/MSK.htm

[8] Sismos pasados en Tarragona durante el año 2022 - lista, mapa, estadísticas. (2023, 1 gener). Volcano Discovery. Recuperat 2 d'abril de 2023, de https://www.volcanodiscovery.com/es/lugar/7664/sismos/tarragona/archive/2022-01-01-2022-12-31.html

[9] VALORES DE LA ACELERACIÓN SÍSMICA BÁSICA ORGANIZADO POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS. (BOE núm. 244). (2002). https://estaticos.elmundo.es/suvivienda/documentos/riesgoterremoto.pdf

[10] Col·laboradors de Wikipedia. (2021, 5 novembre). Norma de Construcción Sismorresistente. Wikipedia, la enciclopedia libre. Recuperat 2 d'abril de 2023, de https://es.wikipedia.org/wiki/Norma_de_Construcci%C3%B3n_Sismorresistente

[11] Ajuntament de Tarragona. (s. d.). Invest in Tarragona. Tarragona. Recuperat 2 d'abril de 2023, de https://www.tarragona.cat/invest-in-tarragona/razones-para-escoger-tarragona/3.-accesible-y-conectada-con-el-exterior

[12] Ortega, J. (2017, 16 gener). La robusta salud de las principales rutas de El Prat y las que se esperan en 2017. La Vanguardia. Recuperat 2 d'abril de 2023, de https://www.lavanguardia.com/economia/20170116/413324191459/rutas-aeropuerto-el-prat-barcelona-2017.html

[13] Informe de mercado de etilbenceno | Tamaño, participación, crecimiento y tendencias (2023-28). (2022). Mordor Intelligence. Recuperat 5 d'abril de 2023, de https://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/ethylbenzene-market

[14] Brinker, C. J. (1999). Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry: Sixth Edition, 1998 Electronic Release. Wiley-VCH.

[15] Ethylbenzene. (2018, maig). DCCEEW. Recuperat 5 d'abril de 2023, de https://www.dcceew.gov.au/environment/protection/npi/substances/fact-sheets/ethylbenzene

[16] Wikipedia contributors. (2022, 20 novembre). Ethylbenzene. Wikipedia. Recuperat 5 d'abril de 2023, de https://en.wikipedia.org/wiki/Ethylbenzene

[17] Diseño y estudio económico de un proceso de producción de etilbenceno utilizando ProMax. (2021, setembre). UPV. Recuperat 5 d'abril de 2023, de https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/176036/Pascual+-+Diseno+y+estudio+economico+de+un+proceso+de+produccion+de+Etilbenceno+utilizando+ProMax.pdf

[18] PubChem. (s. f.-b). PubChem. Nih.gov. Recuperat 2 de juny de 2023, de https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/

[19] Substance information - ECHA. (s. f.). Europa.Eu. Recuperat 2 de junio de 2023, de https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.000.742

[20] ¿QUÉ ES UNA ZEOLITA? (s. f.). Edu.mx. Recuperat 2 de juny de 2023, de http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/55/htm/sec_3.html