



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

Implantació de la metodologia LEAN en l'àmbit de la Logística

Treball de Fi de Grau

Òscar Gómez Morales

2017

Grau de Química

Tutor a l'empresa: Joan Ramón Balcells Gavalda

Tutor de la universitat: Joan Carles Ronda Bargalló

Agraïments

A en Joan Ramón Balcells, per permetre'm descobrir en què consisteix treballar per una gran empresa petroquímica d'una forma immillorable, fent-me sentir com a casa i contagiant-me les teves ganes i la teva autoexigència, demostrant dia rere dia la diferència entre un cap i un líder. Gràcies per confiar en mi i per tot el que m'has ensenyat, que no és poc.

Sílvia Miguel, Josep Ramón Drago i Manuel López, gràcies per cuidar de mi, per la vostra ajuda constant i per fer-me sentir des del primer dia com un més.

A Repsol Química S.A., per permetre'm realitzar les pràctiques i posar al meu abast totes les eines necessàries així com també permetre'm descobrir una gran empresa del sector de la química.

Al Joan Carles Ronda, per posar cara i ulls a aquest treball i per les teves idees constants.

Als meus pares, gràcies pel vostre suport incondicional i per fer de mi qui soc avui en dia. Gràcies per fer-me sentir orgullós de vosaltres.

A la meva germana, que avorrit seria estar a casa sense tu.

A l'Aina i la Gemma, sou el millor que m'emporto d'aquesta etapa.

Per últim m'agradaria agrair a una persona sense el suport de la qual sé que avui en dia no estaria aquí. Per fer de mi una millor persona i per tota la confiança que has dipositat en mi durant aquests anys. Pels teus consells, la teva amistat, la teva comprensió. Sense tu tot això no hagués estat possible. Gràcies, Carla.

Abstract

In this report the implantation of Lean Manufacturing in Repsol Química S.A. is described, specifically in the Operational Logistics department.

This way of working consists in the improvement of the efficiency and it was conceived in Toyota's automobile factory, by Taiichi Ohno. The aim of this methodology is to find tools in order to reduce the wasting materials, increase the value of the products and create a mentality of continuous improvement.

Throughout this study, tools for the monitoring and collecting of data have been developed and implemented thanks to the creation of several dictionaries of incidents as well as spreadsheets for later analysis.

As a result of this analysis and its derivative actions the stay time of the vehicles in the chemical complex has been significantly reduced, improving both efficiency and security. Nevertheless, Lean pursues a mentality change when working, and due to this being a method that is not searching immediate upgrade but improvement of original approaches to obtain long-lasting results.

En aquest treball es descriu la implantació de la metodologia Lean a Repsol Química S.A., concretament al departament de Logística Operativa.

Aquesta metodologia de millora de l'eficiència va ser concebuda a la fàbrica d'automòbils Toyota al Japó, de la mà de Taiichi Ohno. L'objectiu d'aquesta forma de treballar és trobar eines que ens ajudin a eliminar tots els malbarataments, augmentant així el valor dels productes i crear una mentalitat de millora contínua.

En aquest estudi s'han desenvolupat i implantat eines de seguiment i de recollida de dades gràcies a la creació de diccionaris d'incidències i fulles de càlcul per al seu posterior estudi.

Gràcies a l'anàlisi de les dades recopilades i a les accions derivades s'ha aconseguit reduir de manera significativa el temps d'estància dels vehicles al complex químic, millorant així en eficiència i seguretat. Tanmateix, Lean el què persegueix és un canvi de mentalitat a l'hora de realitzar les tasques, i per tant és un mètode que no busca generar resultats directes i a curt termini, sinó que en millora el plantejament d'arrel per a obtenir beneficis romanents i de llarga projecció.

Índex

1.	Introducció	6
2.	Descripció general dels processos del complex de Tarragona ¹	7
2.1.	Polietilè d'alta densitat	7
2.1.1.	Preparació de les matèries primeres	9
2.1.2.	Preparació del catalitzador	9
2.1.3.	Reacció	10
2.1.4.	Separació gas – sòlid	10
2.1.5.	Recuperació de l'isobutà	11
2.1.6.	Aplicacions.....	11
2.2.	Polietilè de baixa densitat (PEBD)	11
2.2.1.	Etapa de compressió	12
2.2.2.	Etapa de reacció	13
2.2.3.	Etapa de separació	13
2.2.4.	Aplicacions.....	14
2.3.	Polipropilè	14
2.3.1.	Tractament del propilè.....	15
2.3.2.	Preparació de catalitzadors.....	15
2.3.3.	Reacció en fase líquida. Producció de l'homopolímer.	15
2.3.4.	Tractament posterior d'alta pressió.....	16
2.3.5.	Aplicacions.....	17
2.4.	Planta d'estirè / òxid de propilè.....	17
2.4.1.	Fase d'alquilació	18
2.4.2.	Fase d'oxidació	18
2.4.3.	Fase d'epoxidació	19
2.4.4.	Fase de purificació d'òxid de propilè	20
2.4.5.	Recuperació d'etilbenzè.....	20
2.4.6.	Deshidratació de MBA i producció de SM.....	21
2.4.7.	Hidrogenació	21
2.4.8.	Aplicacions.....	22
2.5.	Glicols	23
2.5.1.	Poliols per a escumes de poliuretans flexibles.....	23
2.5.2.	Poliols per a escumes de poliuretans rígides	26
2.5.3.	Propilenglicols	29

2.6.	Butadiè	32
2.6.1.	Secció de destil·lació extractiva	33
2.6.2.	Secció de purificació del butadiè.....	34
2.6.3.	Secció de purificació del dissolvent.....	34
2.6.4.	Aplicacions.....	35
2.7.	Planta de tractament d'aigües residuals (TAR)	35
2.7.1.	Unitat WAO (<i>Wet Air Oxidation</i>)	35
2.7.2.	Unitat PACT (<i>Powered Activated Carbon Treatment</i>)	36
2.7.3.	Unitat OHP (oxidació humida amb peròxids).....	37
3.	Metodologia LEAN.....	37
3.1.	5S.....	39
3.2.	Estandardització	40
3.3.	Tècniques de control visual	40
3.4.	Tècniques de qualitat	41
3.4.1.	PDCA.....	42
3.5.	SCRA i CEDAC.....	43
4.	Implantació del Lean en el departament de Logística	44
5.	Resultats i discussió.....	48
6.	Conclusions i futures perspectives.....	51
7.	Bibliografia	52

Objectius

Aquest treball s'ha realitzat amb els següents objectius:

- Col·laborar en la implantació de la metodologia Lean i altres eines de control de la fiabilitat en el departament de Logística Operativa de Repsol Química S.A.
- Estandarditzar i optimitzar els temps d'estança al complex dels vehicles encarregats de realitzar la càrrega i descàrrega dels productes i de matèries primeres
- Realitzar el seguiment de les accions dutes a terme al departament per tal de reduir les incidències, els temps d'estança dels vehicles i analitzar-ne l'eficàcia.

1. Introducció

Repsol és una companyia petrolera internacional que realitza totes les activitats pròpies del sector dels hidrocarburs, incloent l'exploració, desenvolupament i producció de cru i gas natural, transport de productes petrolífers, gasos liquats del petroli (GLP) i gas natural, refinatge, producció i comercialització d'una àmplia gamma de productes petrolífers, derivats del petroli, productes petroquímics, GLP i gas natural.

Concretament, a Repsol Química S.A., s'inclou la producció i comercialització de productes petroquímics derivats i bàsics. L'estructura es fonamenta en tres elements bàsics:

- **Nucli de Gestió Corporativa:** està orientat cap a l'estratègia i a la coordinació i control de les Unitats de Negoci i de Serveis. Està compost per la presidència executiva, que alhora disposa de recolzament de Planificació i Control, Assessoria Jurídica i Persones i Organització.
- **Unitats de Negoci:** responsables de gestionar els recursos assignats i els resultats de la Unitat. En la direcció general de Repsol Química, es concreta en:
 - Petroquímica bàsica
 - Poliolefines
 - Productes intermedis
 - Productes industrials
- **Unitats de Servei Específics d'Àrea:** els gestors de les quals són els responsables d'oferir els corresponents serveis a les diferents unitat de negoci amb la major qualitat i a cost competitiu. En la direcció general de Repsol Química, es diferencien:
 - Producció i Logística
 - Serveis Comercials

El Complex Industrial de Tarragona va ser desenvolupat a la dècada dels 70 i fabrica més de 2.6 milions de tones de productes químics anualment. Les instal·lacions productives comparteixen localització amb la refineria de petroli, ubicats en una posició estratègica per atendre els mercats del Mediterrani i Europa.

Actualment el complex disposa d'una plantilla pròpia de 680 persones i és l'agregat de diverses instal·lacions industrials provinents de diverses empreses que es van fusionar l'any 1.986 i altres de nova adquisició o participació des de llavors.

A continuació, es descriurà breument el procés de formació:

- L'any 1.976 entra en funcionament CALATRAVA, S.A. per a produir 100.000 tones anuals de butadiè. L'any 1.983 amplia instal·lacions i entra en funcionament la nova planta de Polietilè d'Alta Densitat.
- PAULAR, S.A. va posar en marxa l'any 1.977 la planta d'acrilonitril, actualment no operativa
- L'any 1.978 es va posar en marxa ALCUDIA, S.A. per a produir Polietilè de Baixa Densitat

Aquestes tres empreses es van fusionar l'any 1.986 per donar lloc a ALCUDIA, S.A. Les diferents empreses públiques creades en torn a la Refineria, tant en la seva activitat de Petroli, com la de Química i Gas, van unificar-se sota el nom de REPSOL l'any 1.987, amb les seves diferents filials (química, petroli, butà...).

A més a més, l'any 1.988 Repsol Química va adquirir el 50 % de les accions de TDESA, anteriorment propietat de Repsol Petroli. A principis de 1.997 es va posar en marxa la planta de polipropilè. En aquest mateix complex, Repsol va inaugurar l'any 2.000 el major projecte realitzat a Espanya amb tecnologia espanyola, la planta de fabricació d'òxid de propilè / estirè i el 2.001 es va posar es va iniciar la producció de poliols polimèrics.

2. Descripció general dels processos del complex de Tarragona¹

A continuació es descriuran els diferents processos que tenen lloc al Complex Industrial de Tarragona per tal de produir els diferents productes que posteriorment s'expedeixen gràcies al servei de Logística Operativa, on s'ha centrat la implantació del *Lean Manufacturing*.

2.1. Polietilè d'alta densitat

La planta de Polietilè d'Alta Densitat de Tarragona està dissenyada segons els procés *Phillips Petroleum* per a produir 150.000 tones anuals d'homopolímer.

L'any 2016 la planta es va modificar per a poder utilitzar catalitzador metal·locè i produir copolímer (d'empelt) d'etilè i 1-hexè amb densitat fins a $0.914 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, mentre que la densitat de l'homopolímer està entre 0.94 i $0.96 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

Aquesta elevada densitat en el cas de l'homopolímer és gràcies a la seva estructura lineal, que tal i com es mostra a la Figura 2.1.1., presenta les mínimes ramificacions possibles, permetent la compactació òptima de les diferents cadenes de polietilè i augmentant així la seva cristallinitat.

En el cas del copolímer, aquesta densitat és menor degut a la inclusió de cadenes d'1-hexè en els laterals, que dificulten el compactament en l'espai de la molècula.

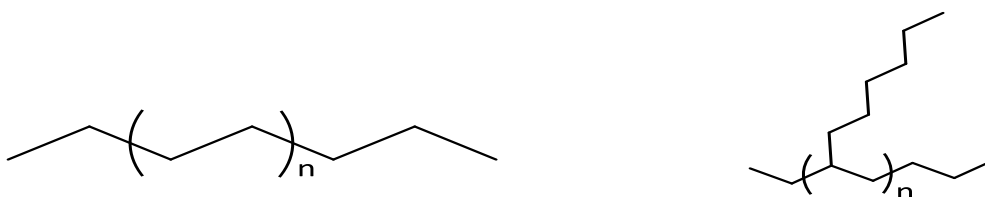


Figura 2.1.1. Estructura química del polietilè d'alta densitat (esquerra) i del copolímer d'etilè i 1-hexè (dreta).

La base del procés és la polimerització de l'etilè en un catalitzador de crom suportat en partícules de sílice, utilitzant 1-hexè com a copolímer i isobutà com a medi de reacció. L'esquema general del procés es mostra a la Figura 2.1.2.

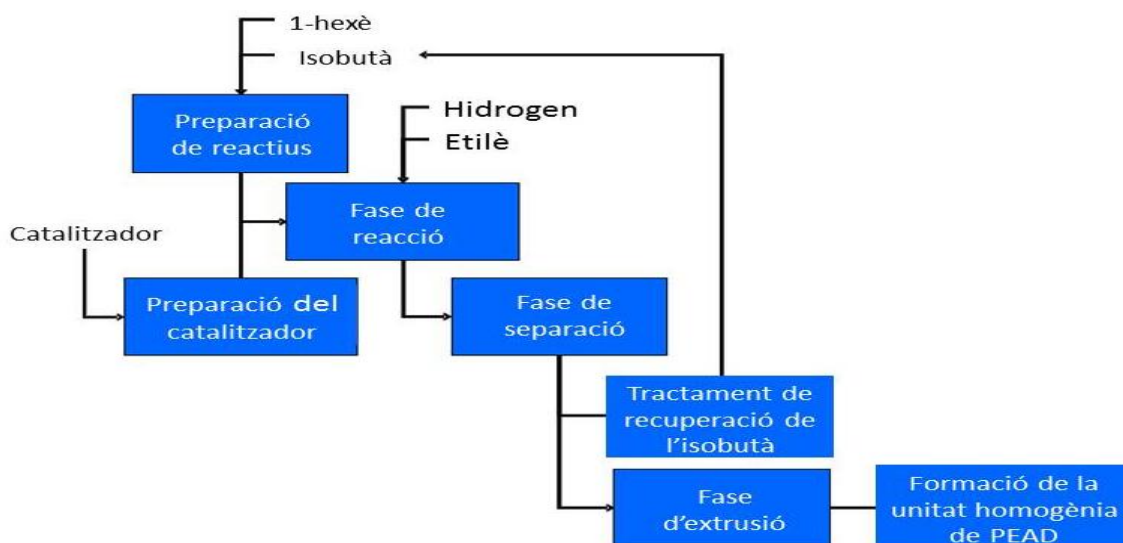


Figura 2.1.2. Esquema general del procés de producció de polietilè d'alta densitat.

El procés es divideix en cinc fases:

2.1.1. Preparació de les matèries primeres

L'isobutà fresc i l'1-hexè es reben per camió cisterna i es descarreguen a la secció d'emmagatzematge, des d'on s'envien a planta. L'etilè arriba provinent de Repsol Petroli via canonada.

A continuació, l'isobutà i l'1-hexè es desgasifiquen i s'assequen mentre que l'etilè només s'asseca. L'hidrogen necessari per al procés s'emmagatzema en una plataforma en ampolles i es dosifica en determinats graus, ja que actua com a modificador de cadena (homogeneïtza la distribució de pesos moleculars).

Així doncs, el corrent d'alimentació principal està format per l'etilè i l'1-hexè, units a l'isobutà provinent del corrent de recicle. A banda, també es mena al reactor l'isobutà fresc, que transporta el catalitzador.

2.1.2. Preparació del catalitzador

Catalitzadors de crom: el catalitzador requerit pel procés *Phillips* és un catalitzador de crom suportat sobre sílice amorfa (Cr/SiO_2). Aquest catalitzador ha de ser activat, per calcinació oxidativa, abans del seu consum. L'activació consisteix principalment en l'eliminació de l'aigua i en l'oxidació del Cr (III) a Cr (IV). L'eliminació de l'aigua és la pèrdua de l'aigua lliure absorbida en els porus i en la superfície així com també l'eliminació de l'aigua present als grups silanol ($\equiv\text{Si-OH}$) de la superfície de la sílice-gel. Així doncs, mentre que l'aigua lliure s'allibera a temperatures superiors a 100 °C, l'aigua combinada s'elimina en un rang de temperatures que comença sobre el punt d'ebullició i arriba fins als 870 °C.

Catalitzador metal·locè: per a la producció de graus metal·locens, s'empra un sistema catalític diferent al del crom, ja que la producció de resines tipus film basades en catalitzador metal·locè requereix una mescla catalítica basada en tres components. Aquests tres components són:

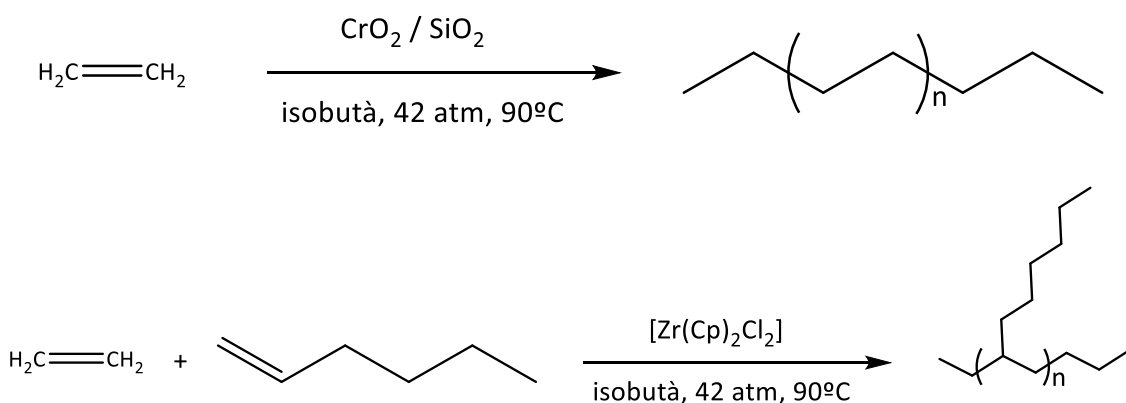
- Catalitzador metal·locè
- Suport catalític (alúmina) SSA

- TIBA (triisobutilalumini), com a co-catalitzador

El TIBA reacciona amb possibles traces d'humitat que hi hagi al reactor, eliminant-les. No obstant, un excés de TIBA podria provocar que aquest s'addicionés al metal·locè i una conseqüent disminució de l'activació catalítica, ja que ocuparia les vacants destinades al monòmer, bloquejant la polimerització.

2.1.3. Reacció

El polietilè es forma en un reactor de bucle tancat de quatre potes encamisades. La pressió es manté constant gràcies al corrent de descàrrega del reactor a la pressió de 42 atm, mentre que la temperatura es manté amb un circuit tancat d'aigua que extreu el calor de reacció en valors entre 85 i 105 °C. Les reaccions que tenen lloc, depenent del catalitzador utilitzat, són les que es mostren a continuació:



La temperatura es l'encarregada de mantenir l'índex de fluïdesa. Altrament, la densitat en el cas del PEAD metal·locè, ve controlada per la quantitat d'1-hexè addicionat, ja que introdueix ramificacions a la cadena principal que fan que la densitat disminueixi².

També es controla el cabal d'isobutà per a mantenir la concentració de sòlids constant al reactor. Les partícules de polímer obtingut sedimenten descarreguen seqüencialment a la càmera de separació flash^a.

2.1.4. Separació gas – sòlid

^a La destil·lació Flash és un tipus d'operació unitària que té lloc quan un líquid saturat es mena a un tanc a menor pressió generant dos estats, vapor i líquid, sent el vapor més ric en el component més volàtil.

La descarrega del reactor es mena cap a la càmera flash de baixa pressió, on es separa el polímers dels hidrocarburs.

A continuació, el polímer s'allibera successivament dels hidrocarburs en un assecador transportador amb temperatura i en una columna de purga amb nitrogen.

2.1.5. Recuperació de l'isobutà

Els components lleugers incondensables (etilè i nitrogen) surten per cap i es menen cap a Repsol Petroli. D'altra banda, l'isobutà de recicle, que s'extreu a meitat de columna, s'emmagatzema i s'envia al reactor a través d'uns assecadors.

La sortida inferior de la columna, formada principalment per isobutà i 1-hexè, s'introdueix a una segona columna per on s'extreu una corrent en cap composta únicament per isobutà i 1-hexè que es mena al tanc d'emmagatzematge d'isobutà, mentre que per fons de columna s'extreu un corrent compost majoritàriament per n-hexà, que s'envia a tractament tèrmic juntament amb una altra corrent provinent de la planta de butadiè.

2.1.6. Aplicacions

Segons el seu tractament, el polietilè d'alta densitat pot tenir diverses aplicacions:

- **Extrusió:** recobriments de cables de telecomunicació, bosses de plàstic comunes, canonades d'aigua potable de gran diàmetre i canonades per a conduccions elèctriques
- **Injecció:** majoritàriament, taps
- **Bufat:** recipients de gran capacitat per a productes petrolífers i mercaderies ADR, dipòsits de gasolina i altres components d'automòbils, envasos (llet, aigua, detergents...).

2.2. Polietilè de baixa densitat (PEBD)

La planta de PEBD està dissenyada segons el procés ICI (*Imperial Chemical Industries*) d'alta pressió per a produir 120.000 tones anuals de producte amb una densitat entre 0.915 i 0.930 g·cm³. Aquest polímer es caracteritza per tenir nombroses ramificacions, que són les responsables de la seva menor densitat.

El procés de producció de PEBD és un procés continu en el qual l'etilè entra al reactor en un rang de pressions entre 1300 i 1600 atm. L'esquema general del procés es mostra a la Figura 2.2.1.

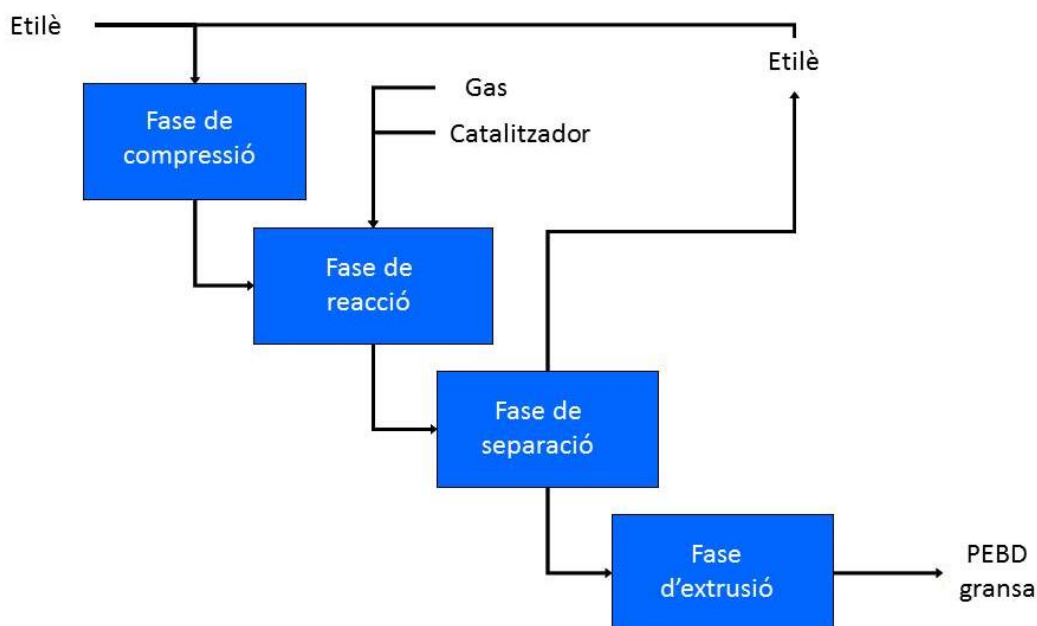


Figura 2.2.1. Esquema general del procés de producció de polietilè de baixa densitat.

El procés està dividit en tres etapes:

2.2.1. Etapa de compressió

El sistema de compressió consta de 3 compressors i dos motors, un per al compressor auxiliar (primari) i un altre per al compressor secundari.

- **Compressor auxiliar:** comprimeix el gas procedent de l'última fase de separació 1.8 kg·cm⁻² fins la pressió del tanc, 27 atm

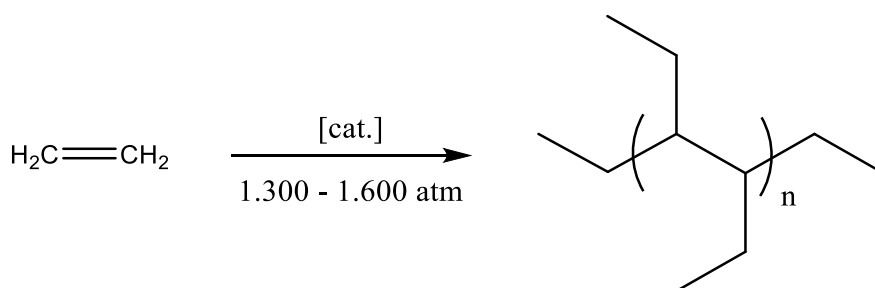
- **Compressor primari:** l'etilè procedent de Repsol Petroli es mena al tanc on es barreja amb el provinent del compressor auxiliar, ambdós a la mateixa pressió. En aquesta etapa es comprimeix la pressió fins a 300 atm
- **Compressor secundari:** el gas impulsat pel compressor primari es mescla amb el gas refrigerat provinent del separador i mitjançant 2 etapes es comprimit fins a 1.600 atm

En totes les anteriors etapes de compressió l'etilè es refrigera mitjançant refrigerants de doble tub per necessitats del disseny mecànic.

2.2.2. Etapa de reacció

El reactor té una capacitat de 854 litres i s'agita mitjançant un agitador axial, al llarg de tot el reactor. Aquest mateix agitador divideix el reactor en quatre zones (l'equivalent a tenir quatre reactors en sèrie).

El gas entra al reactor mitjançant quatre entrades. Per a mantenir constant les temperatures en les diferents zones dels reactors i també com a iniciadors de polimerització, es fan servir diferents peròxids orgànics, com per exemple di-terc-butilperòxid, ja que la seva descomposició tèrmica genera radicals. La reacció que té lloc és la següent:



La barreja d'etilè no reaccionat i polietilè que surt del reactor en estat fos es refrigera per a impedir la formació de polímer de mala qualitat així com per facilitar la posterior extrusió. Aquesta barreja es mena tot seguit a la fase de separació

2.2.3. Etapa de separació

Les condicions d'entrada al separador són de 300 atm i 250 °C. En aquesta etapa es produeix una primera separació de l'etilè del polietilè. L'etilè resultat es refrigera i s'envia de nou cap al compressor secundari.

2.2.4. Aplicacions

Igual que el seu homònim d'alta densitat, segons el seu tractament, el polietilè de baixa densitat pot tenir diverses aplicacions:

- **Extrusió:** cables de baixa i mitja tensió, telecomunicacions, films agrícola, film industrial per a embalatge, canonades de conduccions elèctriques i d'aigua...
- **Injecció:** tota classe d'articles que requereixin un bon comportament a baixes temperatures, com per exemple joguines, articles de cuina i domèstics, contenidors i, en general, taps.

2.3. Polipropilè

La planta de polipropilè està dissenyada per a produir 380.000 tones anuals, segons el procés *Basell*, que es mostra a la Figura 2.3.1.

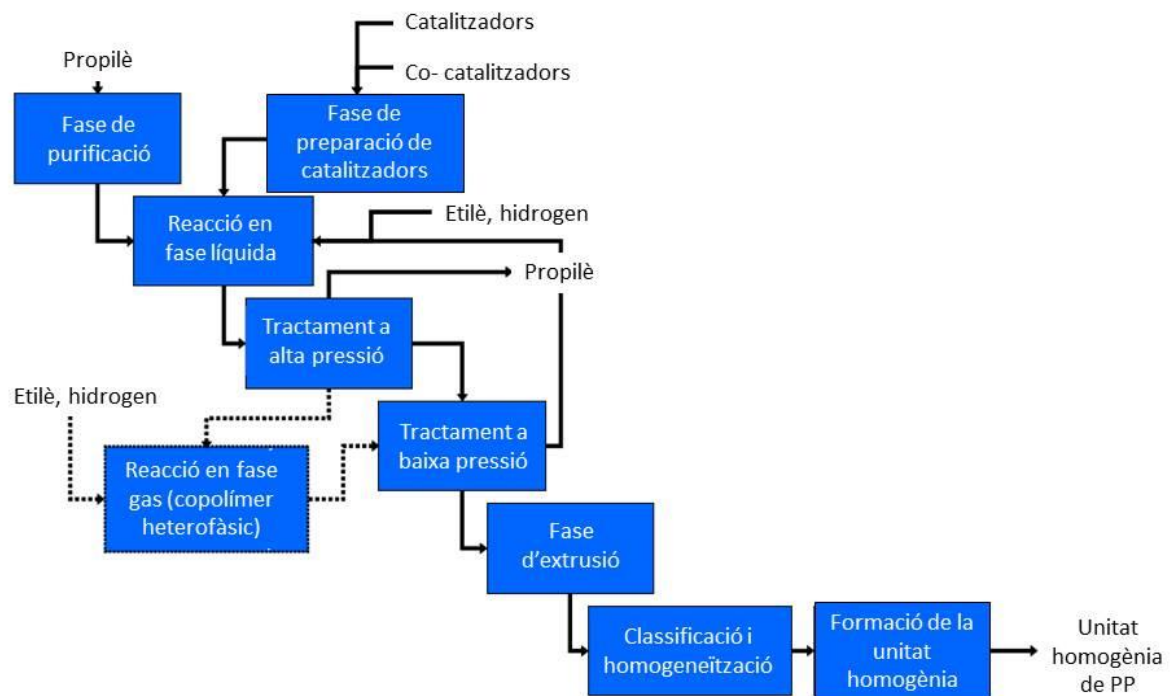


Figura 2.3.1. Esquema general del procés *Basell* per a la producció de polipropilè.

El procés es pot dividir en quatre etapes:

2.3.1. Tractament del propilè

El propilè fresc s'ha de sotmetre a un tractament de purificació per a eliminar possibles traces d'H₂O, CO i COS (sulfur de carbonil) que actuen com a verí del catalitzador.

A la corresponent torre de separació, els components lleugers (CO, CO₂, età i d'altres) es separen per cap. El propilè que surt per fons de columna es refreda i es mena a la unitat d'assecat i posteriorment passa a les torres de COS, on es absorbit. Per últim, el propilè es filtrat i enviat al tanc d'alimentació de reacció.

2.3.2. Preparació de catalitzadors

El sistema catalític està format pels següents components:

- **Catalitzador:** cristalls de clorur de titani suportats en clorur de magnesi
- **Co-catalitzador:** TEAL (triethylalumini)

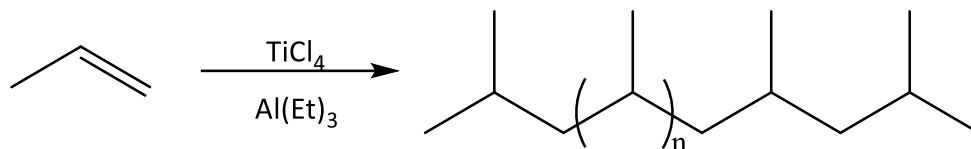
La pasta catalítica es prepara en un dipòsit on el catalitzador sòlid es barreja en oli i greix. Tot seguit, es refreda per mantenir una bona suspensió i aconseguir que la mescla sigui homogènia. Es necessari una atmosfera inert, ja que el catalitzador es fortament desactivat en presència de H₂O, CO₂, CO, COS i O₂, entre d'altres.

El TEAL activa el catalitzador, elimina verins i forma un complex que regula l'addició estèrica de monòmers a la cadena polimèrica de tal forma que el resultat de la reacció sigui polipropilè isotàctic.

2.3.3. Reacció en fase líquida. Producció de l'homopolímer.

La pasta catalítica i el TEAL es barregen en una càmera de prèvia de contacte per formar centres actius que iniciïn la polimerització. La mescla resultant s'injecta al corrent de propilè que alimenta el reactor de pre-polimerització.

La polimerització té lloc en dos reactors de tipus *loop* que operen en sèrie. El polipropilè s'arrossega amb el propilè líquid fins al primer reactor on té lloc el 65 % de la polimerització segons la reacció següent³:



L'altre 35 % restant té lloc al segon reactor, que rep una corrent de propilè líquid. També es menen al segon reactor les corrents següents:

- **H₂**: interromp la polimerització, ja que regula la longitud de les cadenes de polímer augmentant l'índex de fluïdesa
- **Etilè**: s'incorpora de forma aleatòria a la cadena de polipropilè
- **CO**: s'incorpora en una concentració del 2 % en N₂. Desactiva el catalitzador i atura la reacció

2.3.4. Tractament posterior d'alta pressió

En aquesta secció es realitza el procés de separació del polímer respecte al seu monòmer. El producte de reacció és una pols de polipropilè i propilè líquid. Aquest últim s'evapora en una línia flash i a continuació entra al dipòsit de flash on es duu a terme la primera separació física del pols i el gas.

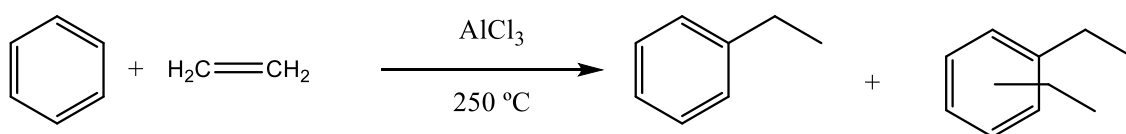
En el dipòsit flash s'evapora el gas que posteriorment es mena a rentador de gasos (*scrubber*), on es separen definitivament les partícules de polímer. Un cop rentat, el propilè es condensa i es bombeja al tanc d'alimentació.

El polímer, des del dipòsit flash i juntament amb una petita aportació de propilè, passa a un filtre on es separa el propilè gas, que posteriorment s'envia a una columna de rentat on es desactiven les restes de TEAL.

Des del filtre, el polímer passa a la càmera de rentat amb vapor, on es renta a baixa pressió i posteriorment s'asseca en un assecador amb nitrogen calent.

2.4.1. Fase d'alquilació

Aquesta fase de la producció emprà etilè i benzè com a matèries primeres i té lloc en dos reactors d'alquilació que treballen en sèrie amb dos llits catalítics cadascun d'ells. El benzè, en excés, s'alimenta en sèrie de baix a dalt, mentre que l'etilè entra en paral·lel per la zona inferior i intermèdia de cada reactor. La reacció que té lloc es mostra a continuació:

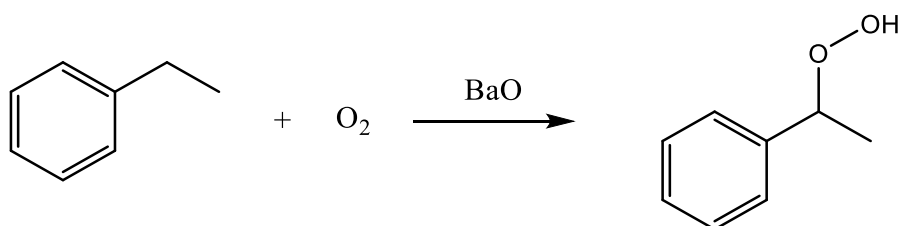


Els productes de reacció es passen a una primera columna que recupera el benzè en excés, que es recicla al reactor. Tot seguit, es disposa d'una altra columna que separa l'EB dels productes més pesants procedents principalment de la combinació del propi EB (dietilbenzè, trietilbenzè...). L'etilbenzè es mena al reactor d'oxidació mentre que els productes de combinació s'envien a un tercer reactor, anomenat reactor de transalquilació, que s'encarrega de trencar aquests compostos més pesants per donar lloc a etilbenzè.

2.4.2. Fase d'oxidació

L'oxidació de l'etilbenzè té lloc en dos reactors en sèrie, constituïts cadascun d'ells per quatre compartiments amb agitació.

L'etilbenzè sense transformar flueix d'un compartiment a un altre i reacciona amb l'oxigen de la corrent d'aire que s'alimenta. Com a producte final d'aquesta etapa s'obté un efluent líquid amb un 10 – 12 % d'hidroperòxid d'etilbenzè, el qual es concentra posteriorment. La reacció es la següent⁴:

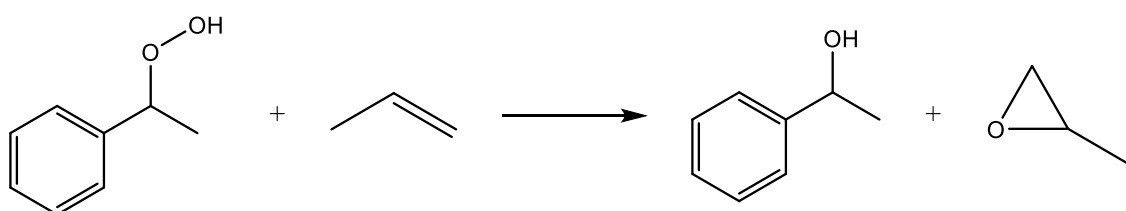


Aquesta reacció es fortament exotèrmica i el calor de reacció s'elimina mitjançant un constant flux de gas.

El flux gasós generat als reactors, anomenat *off-gas*, passa a una columna economitadora en la qual es recupera una part d'EB i el calor residual. A continuació es mena a una columna de rentat i, per últim, es tracta en un reactor d'oxidació catalítica (Unitat Regenox), la finalitat de la qual es eliminar les restes de components orgànics volàtils que pugui arrossegar aquest *off-gas* per poder enviar aquesta corrent, un cop neta, a l'atmosfera.

2.4.3. Fase d'epoxidació

La reacció d'epoxidació és una reacció exotèrmica que té lloc en dues etapes, en les quals el propilè reacciona amb l'hidroperòxid d'etilbenzè en presència d'un catalitzador de molibdè (afegit a la solució d'EB) i àcid octanoic, donant com a productes principals de la reacció òxid de propilè i alcohol benzílic (MBA).



Com a productes secundaris es produeixen acetofenona (ACP), àcid acètic, àcid benzoic... a més a més dels productes de descomposició del propi hidroperòxid.

La primera etapa té lloc en reactor de 5 compartiments i s'assoleix una conversió del 90 %. S'arriba a la conversió màxima, 99.5 % en una segona etapa, constituïda per dos reactors cilíndrics. El propilè no reaccionat surt en dues corrents:

- Fase vapor, procedent de la mateixa evaporació del propilè
- Fase líquida, com a efluent del reactor

Ambdues corrents constitueixen l'alimentació de les columnes recuperadores d'alta i baixa pressió. Per tal de reduir la pressió i la mida del posterior sistema de rentat, primer

es duu a terme una separació flash per a separar el propilè. El posterior sistema de rentat es l'encarregat d'eliminar els diferents àcids produïts durant el procés.

A la sortida s'eliminen els compostos orgànics útils (ACP i MBA) de l'efluent aquós i aquesta s'envia a la unitat de tractament d'aigües residuals (TAR).

La fase orgànica resultant, juntament amb la corrent en cap del flash alimenten la segona columna de baixa pressió, encarregada d'eliminar el propilè.

La corrent resultant, exempta de propilè, es destil·la obtenint per cap una corrent d'òxid de propilè brut i una altra per fons, constituïda principalment per etilbenzè, alcohol benzílic i acetofenona. Aquesta última corrent es mena a la secció de recuperació d'EB.

2.4.4. Fase de purificació d'òxid de propilè

L'òxid de propilè brut obtingut es purifica en dues columnes:

- **Primera columna:** s'eliminen per cap els lleugers (principalment acetaldehid)
- **Segona columna:** s'obté per cap una corrent d'òxid de propilè i per fons una corrent de productes pesants. En aquesta columna és necessària l'addició d'aigua per extreure'n el metanol present, complint així amb l'especificació desitjada

D'aquesta segona columna en resulta una corrent aquosa, que juntament amb una altra corrent aquosa provinent de la unitat de recuperació d'EB, riques en monopropilenglicol (MPG), es menen a una tercera columna que treballa al buit i que concentra el MPG.

2.4.5. Recuperació d'etilbenzè

Aquesta fase del procés consta de tres columnes que treballen al buit.

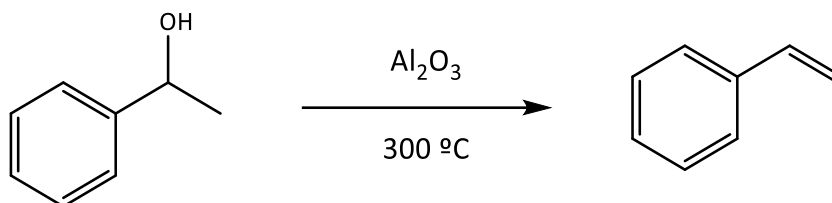
La primera s'alimenta dels efluents posteriors a l'eliminació de l'òxid de propilè i el resultant la hidrogenació. Els productes que surten per cap es menen a un decantador on es separa la fase orgànica (EB) de l'aquosa (rica en MPG). Aquesta última es conduïda a la secció de recuperació de MPG. Per contra, l'EB recuperat s'alimenta als diferents punts de la plana on es requereixi.

El fons passa a una segona columna de buit on es separen els lleugers. Una extracció lateral rica en MBA constitueix l'alimentació al reactor de deshidratació per donar lloc a estirè comercial. Per fons surt una corrent rica en ACP i MBA que es tractarà en la secció d'hidrogenació.

La tercera columna, la columna d'*stripping*^b de MBA, té com a finalitat eliminar la major part de compostos més pesats que l'MBA del corrent de fons de la columna anterior, ja que tenen un efecte negatiu en la reacció de deshidratació. Per cap s'obté un corrent ric en MBA que s'addiciona a l'extracció lateral de la segona columna, constituint ambdues l'alimentació a la deshidratació.

2.4.6. Deshidratació de MBA i producció de SM

L'MBA es deshidrata per escalfament, en una reacció que és endotèrmica, donant lloc a estirè monòmer (SM) i aigua. En el corrent obtingut, es separa l'aigua i es renta per eliminar les restes àcides, obtenint així una corrent d'estirè brut. La reacció que té lloc és la següent:



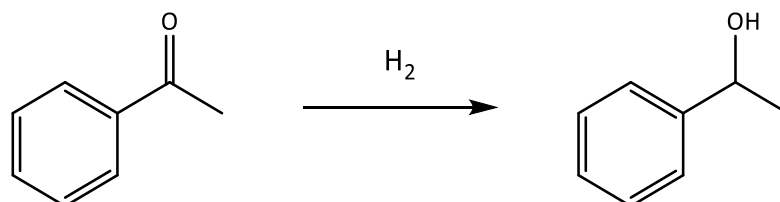
L'estirè brut es purifica en dues columnes, en la primera de les quals es separen els compostos lleugers i en la segona els pesants, obtenint com a resultat en cap l'estirè comercial. Els compostos pesats obtinguts, entre ells ACP i MBA, es tracten en la secció d'hidrogenació.

2.4.7. Hidrogenació

La fase d'hidrogenació està constituïda per tres seccions:

^b Procés mitjançant el qual un compost volàtil es separa de la resta de components d'un corrent líquid mitjançant l'acció d'un component inductor, com pot ser l'aire, el vapor, nitrogen...

- **Separació:** formada per dues columnes que operen al buit en les que pràcticament es recupera tot el MBA i ACP
- **Reacció:** consta de dos reactors agitats en sèrie on es posa en contacte H_2 amb l'alimentació, transformant, en la mesura del possible, l'ACP a MBA, que es menarà de nou al reactor de deshidratació. La reacció de reducció es mostra a continuació:



- **Recuperació del catalitzador:** existeix un dipòsit agitat on es prepara el catalitzador que alimentar els reactors. A la sortida de la secció de reacció, hi ha un sistema de filtrat que recupera la major quantitat de sòlids, que torna a alimentar el dipòsit agitat, com a catalitzador recuperat.

En aquesta unitat està integrada la unitat de tractament de FOP (*Fuel Oil of Production*). L'objectiu d'aquesta unitat es el tractament de les corrents més pesants de tota la planta d'OP / SM, previ a la seva recuperació energètica que té lloc a una caldera convencional per eliminar el sodi que contenen i així evitar problemes d'emissions i neteges reiterades de la mateixa. Aquest tractament consisteix en l'eliminació del sodi acumulat en les corrents pesants de procés mitjançant la seva neutralització amb àcid acètic i la posterior separació de la fase orgànica i aquosa per centrifugació (gràcies a la diferència de densitat existent). Del procés s'obté una fase aquosa consistent en acetat de sodi principalment i un fuel tractat amb un menor contingut de cendres.

2.4.8. Aplicacions

L'estirè és la matèria primera d'un gran nombre d'homopolímers i copolímers termoplàstics, com per exemple poliestirè, poliestirè expansible, ABS, SAN així com també d'elastòmers com poden ser els cautxús d'estirè-butadiè.

D'altra banda, l'òxid de propilè es dedica majoritàriament a la producció de poliols, polièters i propilenglicols. També se'n deriven els èters de glicols.

2.5. Glicols

2.5.1. Poliols per a escumes de poliuretans flexibles

La unitat de poliols per a la formació d'escumes de poliuretans flexibles utilitza la tecnologia de ICI (*Imperial Chemical Industries*) per a produir un total de 125.000 tones anuals. Aquesta tecnologia es caracteritza per fer servir únicament un reactor amb refrigeració per a preparar:

1. Solució iniciadora (catalitzador)
2. Prepolímer (únic per a totes les composicions de polioli i glicol)
3. Polioli

Un cop preparat el polioli es separa l'excés de catalitzador per neutralització, eliminació de l'aigua de dilució (per precipitar adipat de potassi) i filtració. Aquest procés es mostra de forma generalitzada a la Figura 2.5.1.1.

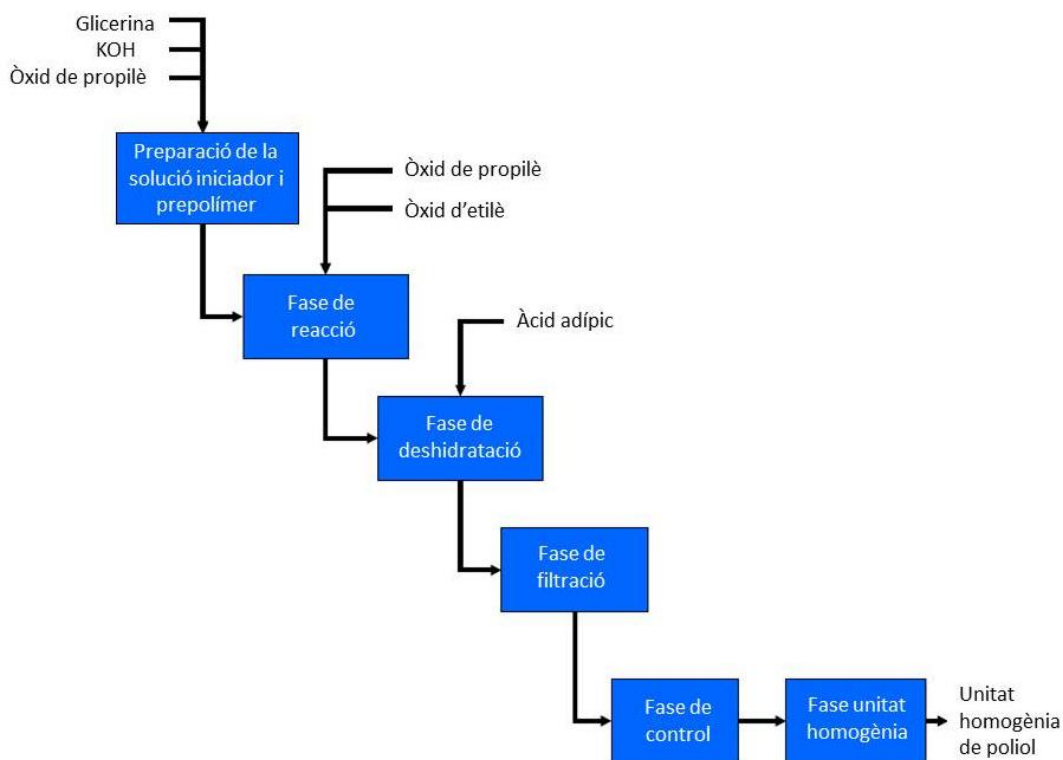
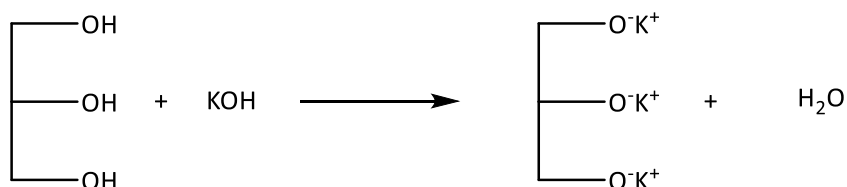


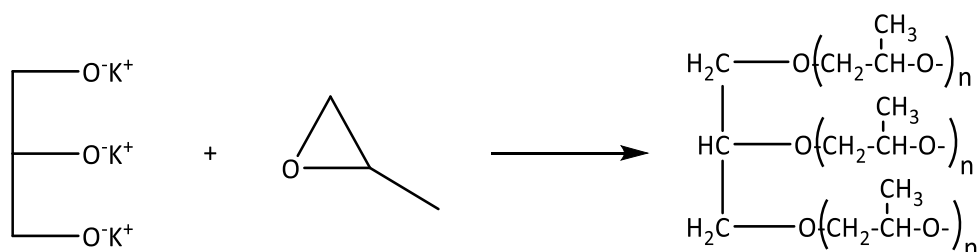
Figura 2.5.1.1. Esquema general del procés de la planta de poliols de composició flexible.

2.5.1.1. Preparació de la solució iniciadora i del prepolímer

La preparació de la solució iniciadora té lloc en un reactor en el que es carreguen quantitats mesurades de glicerina i hidròxid de potassi al 50 % en pes. L'aigua generada i la introduïda amb la solució de KOH s'elimina mitjançant l'addició de calor i el buit. La reacció que té lloc és la següent:



La fase de preparació del prepolímer consisteix en l'addició d'òxid de propilè (OP), a la solució iniciadora, tal i com es mostra a continuació:



Al principi, la solubilitat de l'OP és baixa, fins que s'assoleix un determinat grau de polimerització a partir del qual s'augmenta el caudal d'addició. Se n'afegeix la quantitat necessària per aconseguir un polímer d'un pes molecular aproximat de 650 g·mol.

Durant el procés d'addició d'OP es té en compte la pressió i la temperatura del reactor (116 – 120 °C) per evitar l'acumulació d'OP sense reaccionar.

En aquesta etapa de producció de prepolímer es prepara la quantitat suficient com per a produir nou remeses de poliols. Un cop acabada la producció de prepolímer, aquest s'extreu del reactor i s'emmagatzema aproximadament a 90 °C.

2.5.1.2. Preparació del polímer

Una part del prepolímer emmagatzemat es transfereix al reactor, on la formació de polímer té lloc mitjançant l'addició de OP i OE (òxid d'etilè) segons les quantitats i procediment de cada recepta de fabricació. Aquesta addició d'OP i/o OE es du a terme sota control de pressió i temperatura en un reactor amb agitació, tenint en compte que

la relació d'OP / OE es una determinada. Segons els diferents graus de poliol flexible, les quantitats són les que es mostren a la Figura 2.5.1.2.1.

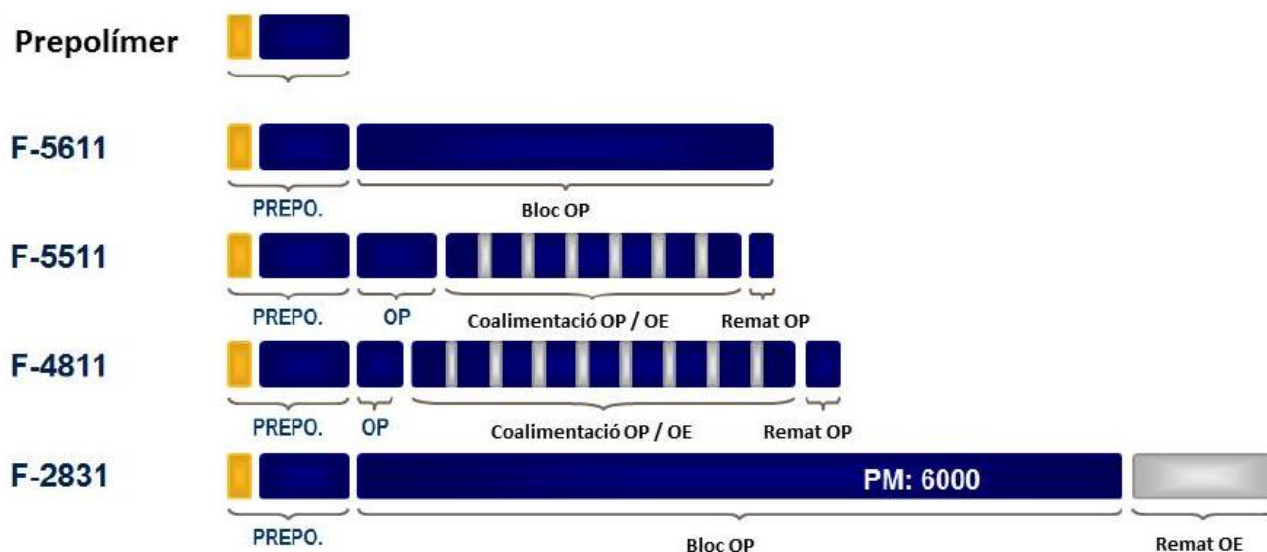


Figura 2.5.1.2.1. Relació de la quantitat de prepolímer, òxid de propilè i òxid d'etilè per fabricar els diferents graus de poliol de composició flexible.

2.5.1.3. Assecat

Un cop s'ha menat el polímer al reactor es procedeix a la neutralització de l'excés de catalitzador, alcòxid de potassi, amb una solució d'àcid adípic.

Posteriorment, s'elimina de l'aigua de la barreja al buit per a concentrar l'adipat de potassi, donant lloc a l'aparició de cristalls que s'eliminen per filtració.

2.5.1.4. Filtració

El poliol amb els cristalls d'adipat de potassi es transfereix des del reactor de deshidratació al dipòsit previ al filtre, on es mena, per acció d'una bomba, al filtre (placa filtrant). El poliol omple el filtre i, si compleix les especificacions necessàries passa al dipòsit de buidat del filtre. Per contra, si no compleix els requisits necessaris, s'introdueix de nou al reactor de deshidratació.

2.5.1.5. Recuperació del poliol del filtre

El poliol, que acompanya a la placa filtrant en un 30 % en pes, ha de ser recuperat en la mesura del possible. Així doncs, la placa es descarrega al dipòsit d'efluents sobre una dissolució concentrada d'adipat de potassi, que neteja la placa i dissol els cristalls.

Aquesta dissolució es facilita escalfant el dipòsit d'efluents fins a uns 90 °C. Tot seguit, es deixa reposar el contingut del tanc. El sobrenedant, que és el poliol, es recupera i es mena cap al reactor de deshidratació.

2.5.1.6. Poliol filtrat

La remesa de poliol filtrat arriba al tanc de control, on es refreda fins als 50 °C. Un cop s'ha comprovat que la remesa ha estat fabricada correctament i que compleix les especificacions necessàries, aquest poliol està en condicions de transferir-se als tancs d'emmagatzematge, on es refreda fins a temperatura ambient (aproximadament, 20 °C), llest per a la seva expedició.

2.5.1.7. Aplicacions

La principal aplicació d'aquests tipus de poliols, és la producció d'escumes de poliuretans flexibles. També se'n destina una part a recobriments, segellants, adhesius i elastòmers.

2.5.2. Poliols per a escumes de poliuretans rígides

La unitat de copolímer poliol-vinil es un procés semi-continu, amb una capacitat de producció de 26.000 tones anuals, del qual se'n poden diferenciar diverses etapes:

1. Preparació de la solució vinílica (procés *batch*)
2. Reacció (procés continu)
3. Eliminació de monòmers (procés amb etapes *batch* i continues)

L'esquema general del procés és el que es mostra a la Figura 2.5.2.1.

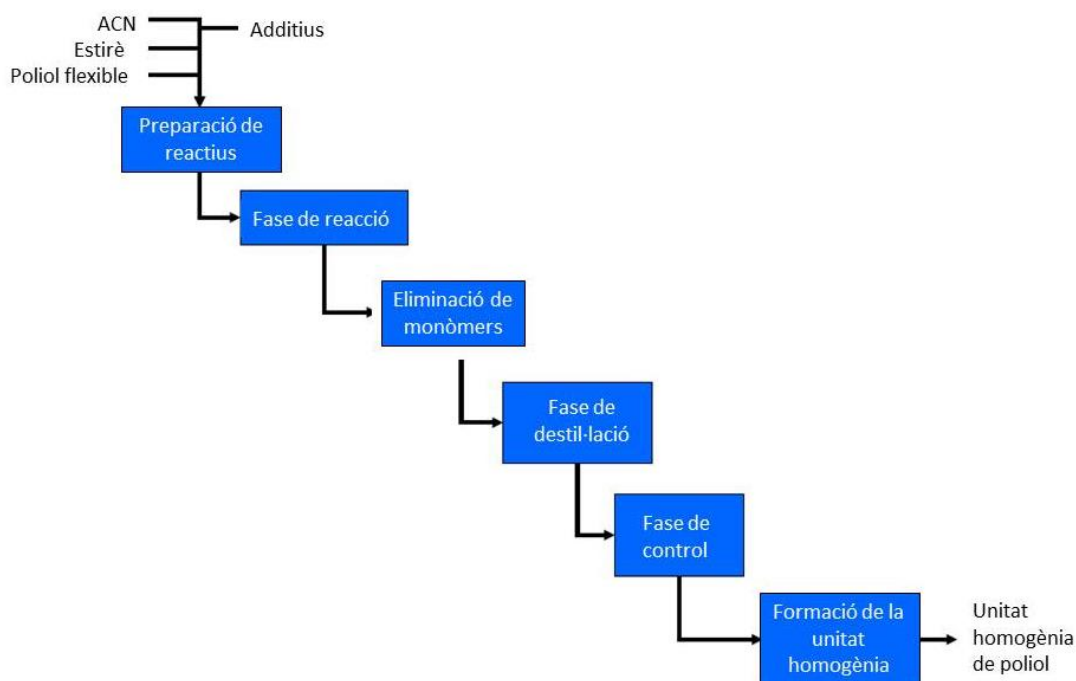


Figura 2.5.2.1. Esquema general del procés de producció de copolímer polioli-vinílic.

2.5.2.1. Preparació de la solució vinílica

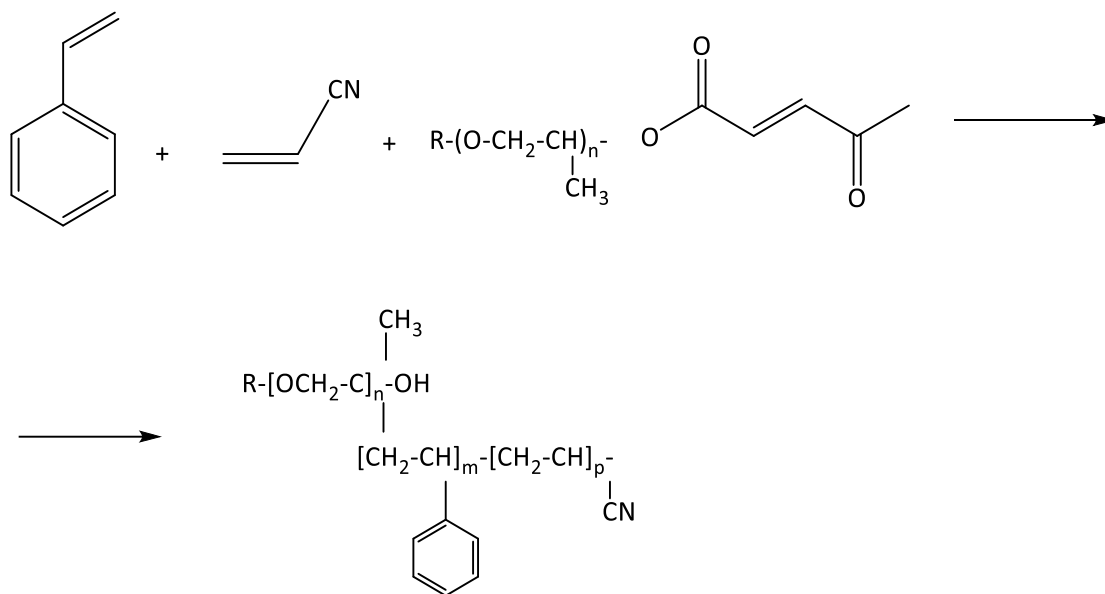
El copolímer es forma com a resultat de la reacció del polioli de composició flexible amb monòmers de acrilonitril (ACN) i estirè (SM). S'afegeixen també altres additius necessaris per la reacció: polioli dispersant, peròxid inorgànic (*Trigonox*)^c com a iniciador de polimerització i terpinolè com a transferidor de cadena. A més a més, per tal que el polioli pugui reaccionar amb els monòmers vinílics s'ha de modificar. Aquesta modificació té lloc mitjançant l'addició d'anhídrid maleic al propi polioli catalitzada per naftenat de calci, de tal manera que els grups finals de les cadenes de polioli queden insaturacions en les quals posteriorment es podran addicionar els monòmers vinílics.

Tots aquests reactius es barregen, per etapes, en el dipòsit de preparació de la solució vinílica. Posteriorment, el seu contingut es transfereix a un altre dipòsit pulmó, des del qual s'alimenta en continu a la secció de reacció. Ambdós dipòsits s'han de mantenir a una temperatura inferior a 20 °C.

2.5.2.2. Reacció

^c 1,1,3,3-tetrametilbutilperòxi-2-etilhexanoat

Es disposa de dues línies de reacció, cadascuna de dos reactors en sèrie. Normalment s'opera amb una única línia, mentre a l'altra es realitzen operacions de neteja. La temperatura de reacció s'ha de mantenir constant a 120 °C i es treballa amb agitació constant. Els reactors treballen a ple volum i a pressió. La reacció que té lloc és la inserció dels diferents monòmers d'estirè i acrilonitril sobre les insaturacions maleiques, de tal manera que es formen copolímers de bloc⁵:



El seu efluent passa per un filtre abans d'arribar la secció d'eliminació de monòmers.

2.5.2.3. Eliminació de monòmers

En aquesta etapa s'eliminen del procés tots els monòmers (ACN, SM) no reaccionats anteriorment. Aquesta part del procés consta de diverses fases:

- **Flash al buit:** hi ha dos flash. En operació funciona un mentre l'altre es neteja. Aquest equip treballa en continu, rebent l'efluent dels reactors
- **Evacuadors:** igual que en l'etapa anterior, es disposa de dos evacuadors que funcionen alternativament. En aquest cas, l'operació torna a ser *batch*. Es fa un *stripping* del poliòl amb vapor de molt baixa pressió. Posteriorment, es fa el buit per eliminar l'aigua introduïda amb el vapor
- **Pulmó i evaporador de pel·lícula fina:** l'efluent dels evacuadors es recull en un dipòsit pulmó, des del qual s'alimenta en continu l'evaporador de pel·lícula fina.

Aquest equip també funciona al buit i acaba d'eliminar quantitats residuals de monòmer

2.5.2.4. Dipòsit de control

Hi ha dos dipòsits de control, en els quals es dosifiquen els antioxidants. Aquests dipòsits s'omplen alternativament i el producte s'homogeneïtza i es refreda fins a la temperatura desitjada.

2.5.2.5. Aplicacions

La principal aplicació d'aquests tipus de poliols, és la producció d'escumes de poliuretans rígids. També se'n destina una part a recobriments, segellants i adhesius.

2.5.3. Propilenglicols

La unitat de glicols està dissenyada per produir glicols derivats del propà, fent reaccionar òxid de propilè amb aigua de procés. Aquesta planta esta dissenyada per a una producció anual de 63.000 tones tal i com es mostra a la Figura 2.5.3.1.

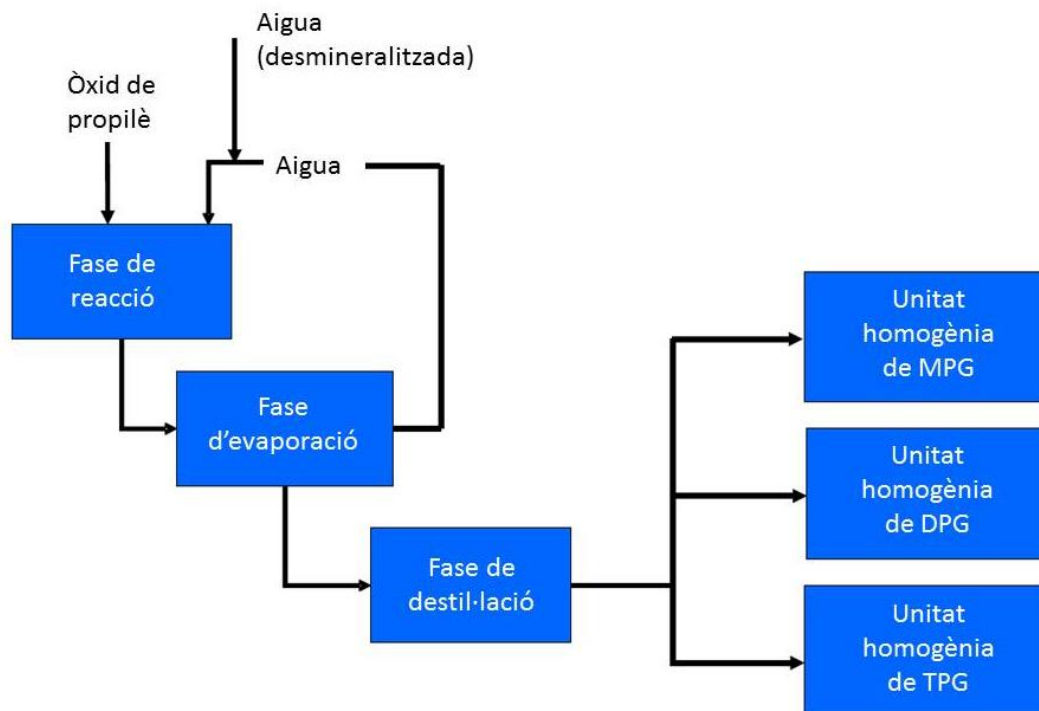


Figura 2.5.3.1. Diagrama del procés de producció de glicols.

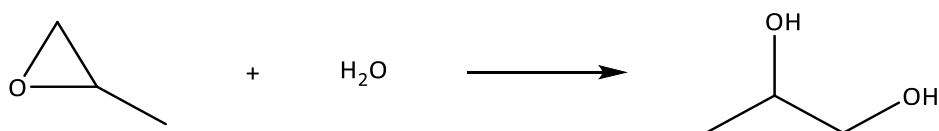
Es pot dividir en tres seccions:

2.5.3.1. Secció de reacció

L'aigua del procés és aigua provinent de les calderes i ha de ser preescalfada abans de menar-la al reactor. Un cop està a la temperatura adequada, aquesta aigua es barreja amb l'òxid de propilè (OP) i es mena a un primer reactor, juntament amb un corrent provinent de la recirculació del tercer reactor, i es forma el corrent d'entrada al primer reactor.

La reacció entre l'aigua i l'OP té lloc en fase líquida en un tres reactors adiabàtics. El producte resultant del primer reactor, es refreda amb aigua per a adequar-ne la temperatura i es mescla amb més OP per formar l'entrada del segon reactor. A continuació, l'efluent del segon reactor es refreda per ajustar la temperatura d'entrada al tercer reactor, on abans d'entrar es torna a barrejar amb més OP.

Com ja s'ha comentat anteriorment, part dels efluents del tercer reactor es menen de nou al primer reactor. La resta, s'envia a la secció d'evaporació. Les reaccions que tenen lloc en els tres reactors es resumeixen en la reacció següent:



2.5.3.2. Secció d'evaporació

Els productes de reacció s'alimenten a una primera torre en la que s'evapora parcialment el producte. El vapor obtingut en cap s'utilitza per a escalfar la segona torre, mentre que el condensat es mena a un dipòsit per a la seva posterior recuperació.

El líquid de fons es transfereix a la segona torre en la qual es procedeix igual que en la primera.

Els vapors de sortida del condensador de la tercera torre són aspirats per un sistema de buit. Els condensats es recuperen i es retornen al dipòsit d'aigües de procés.

El producte líquid de fons de la tercera torre, glicols concentrats amb un contingut d'aigua del 5 % en pes com a màxim, s'impulsen cap a la secció de destil·lació.

Els condensats recuperats són enviats al dipòsit d'aigua de procés.

2.5.3.3. Secció de destil·lació

A la secció de destil·lació s'elimina definitivament l'aigua dels glicols i es separen el mono-, di- i tri-propilenglicol (MPG, DPG i TPG) en successives torres de destil·lació. Les estructures dels diferents productes es mostren a la Figura 5.3.3.1.

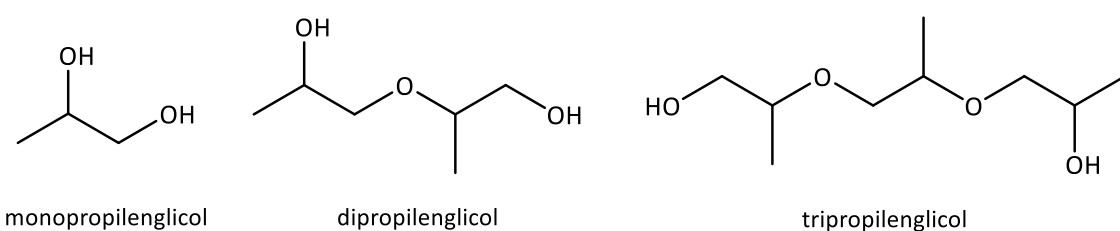


Figura 5.3.3.1. Estructura química dels diferents glicols produïts a partir de la reacció d'òxid de propilè amb aigua.

El glicol concentrat procedent de la tercera torre d'evaporació s'alimenta a una columna dessecadora, on s'elimina l'aigua dels vapors en cap i posteriorment es condensen. Els incondensables, saturats de vapor d'aigua, condensen després de passar per un sistema de ejectors i es recuperen com a aigua de procés.

La mescla de glicols que s'obté per fons de la columna dessecadora s'envia a la columna de MPG (torre de plats), on es separa aquest component d'altres glicols més pesants.

L'MPG s'extreu de la columna pel segon plat i part d'aquest es reenvia a nou a la columna com a reflux. D'altra banda, els glicols que s'obtenen per fons es menen a la columna de DPG, on se n'extreu el DPG en cap de columna. Novament, part del producte es transfereix de nou a la pròpia columna com a reflux i el corrent en fons s'envia a la columna de TPG. S'obté el TPG per cap de columna i se n'envia una part a reflux.

2.5.3.4. Aplicacions

- **MPG grau industrial:** resines polièster insaturades, líquids de frens, fluids hidràulics així com també anticongelants (inclús per avions) i refrigerants. També s'empra com a plastificant, lubricant i tintes d'impressió
- **MPG grau USP:** en farmàcia, alimentació humana i animal com a dissolvent de sabors i colors, humectant, lubricant de màquines, cosmètica, tabac...
- **DPG grau industrial:** líquid de frens, fluid hidràulic, lubricants, olis de motors, sabons industrials, plastificants, intermedi en la fabricació de poliuretans....
- **TPG:** dissolvent de tintes d'impressió, lubricants, olis, sabons industrials, plastificant i intermedi per a resines acrilat i poliuretans.

2.6. Butadiè

La unitat de purificació de butadiè obté 1,3-butadiè d'alta puresa (mínim d'un 99.5 % en pes) a partir de la fracció C4 procedent del cracker de Repsol Petroli. La capacitat original de la planta era de 50.000 tones anuals però actualment la capacitat és de 120.000 tones anuals repartides en dues plantes de 60.000 tones anuals cadascuna, tot i que operen a menor capacitat degut a la falta de matèria primera.

Els equips fonamentals d'ambdues plantes són columnes de plats de vàlvules, intercanviadors de calor de carcassa i tubs i bombes centrífugues.

Com ja s'ha comentat, la matèria prima és fracció C4, amb un riquesa d'1,3-butadiè entre el 33 i el 55 %. Per a aconseguir la puresa desitjada, la planta opera segons la tecnologia de *Nippon Zeon*, basada en operacions de separació físiques (destil·lació i extracció) i que utilitza dimetilformamida (DMF) com a dissolvent.

L'esquema del procés es mostra a la Figura 2.6.1.

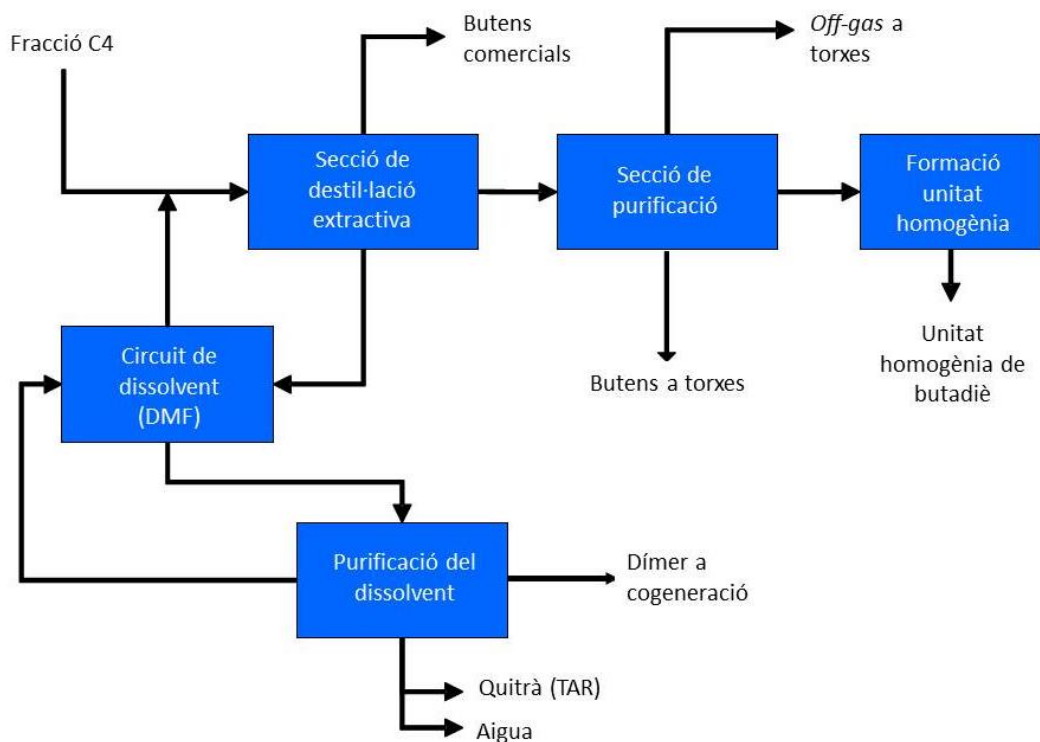


Figura 2.6.1. Diagrama general del procés de purificació d'1,3-butadiè.

La planta de butadiè es pot dividir en tres seccions:

2.6.1. Secció de destil·lació extractiva

La separació es basa en les diferències de temperatures d'ebullició dels components de la fracció C4 i per la seva solubilitat en DMF. Els components de la fracció C4 més solubles en DMF són: pesants C5, vinil-acetilè, etil-acetilè, 1,2-butadiè, 1,3-butadiè i metilacetilè.

- **Secció de primera destil·lació extractiva:** el corrent de fracció C4 passa prèviament per un vaporitzador per a retenir els pesants i vaporitzar la fracció C4 líquida que arriba des de l'esfera.

La primera destil·lació extractiva està formada per dues columnes de plats en les que es separa per cap principalment els lleugers (C3, n-butà, i-butà, 1-butè i i-butè) i els 2-transbutè. Aquest corrent es denomina BBR-1 (refinat de butà-butè) i es retorna a Repsol Petroli per a la síntesi de ETBE (etil terc-butil èter).

El dissolvent, que conté 1,3-butadiè, s'alimenta al primer *stripper*, on es separen els hidrocarburs del DMF. D'aquesta secció s'obté un producte amb una puresa

d'entre el 93 i el 95 %, que es mena a la segona secció de destil·lació extractiva a través d'una etapa intermèdia de compressió.

- **Secció de segona destil·lació extractiva:** l'objectiu d'aquesta secció és la separació de vinilacetilè, arribant a una puresa del butadiè entre el 97 i el 99 %. La secció està formada per una segona columna de destil·lació extractiva, una columna de recuperació de butadiè i el segon *stripper*.

L'1,3-butadiè es separa per cap de la segona destil·lació extractiva i es mena a la secció de purificació. El dissolvent s'envia a la columna de recuperació amb l'objectiu de minimitzar la pèrdues de butadiè i posteriorment al segon *stripper*, on es tornen a separar els hidrocarburs del DMF. El corrent en cap d'aquest segon *stripper* (corrent de vinils) es mena a la planta de ACN o bé a les torxes.

2.6.2. Secció de purificació del butadiè

Està formada per dos fraccionadors i permet obtenir una corrent de butadiè amb una puresa mínima del 99.5 % en pes.

En el primer fraccionador es separa el metilacetilè per cap, que s'envia a la planta de ACN o a les torxes i per fons s'obté un corrent que es mena al segon fraccionador

Per cap del segon fraccionador s'obté el corrent de butadiè producte que s'envia a emmagatzematge un cop s'ha refrigerat. Per fons del fraccionador s'elimina l'1,2-butadiè i hidrocarburs pesats C5. Aquest corrent s'anomena BBR-2 i també es mena a la planta de ACN o a les torxes.

2.6.3. Secció de purificació del dissolvent

Per tal de garantir la qualitat del dissolvent al procés, existeix una secció de purificació la finalitat de la qual és eliminar l'aigua i el dímer (4-vinilciclohexè). Això es du a terme a la columna de refinatge i en un recuperador de dissolvent:

- La columna de refinatge processa el dissolvent que prové dels refluxos dels *strippers*, eliminant-ne el dímer per cap i l'aigua i obtenint per fons DMF purificada. El dímer (resultat de la reacció de dues molècules de 1,3-butadiè), constitueix un corrent BBR-3 i es mena juntament amb BBR-2 a la planta de ACN.

- El recuperador de dissolvent processa la DMF procedent del fons dels *strippers* o del dipòsit enterrat de drenatge del procés, eliminant el quitrà mitjançant l'evaporació del dissolvent. En aquest procés es vital el control dels additius, l'objectiu dels quals és evitar la formació de polimerització no desitjada de 1,3-butadiè, que dóna lloc a una estructura rígida molt ramificada i de creixement exponencial que provoca obstruccions i ruptures d'equips.

2.6.4. Aplicacions

El butadiè s'empra principalment per a produir cautxús sintètics com poden ser el polibutadiè, estirè-butadiè i cautxús termoplàstics com ara el neoprè. D'igual forma també se'n deriven les resines ABS i l'adiponitril, producte intermedi en l'obtenció de poliamides.

2.7. Planta de tractament d'aigües residuals (TAR)

Els diferents corrents d'aigua residuals produïts per les plantes de OP / SM, glicols i poliols són tractades a la planta de TAR, que es basa en tres processos ben diferenciats que són oxidació humida, tractament biològic i oxidació amb peròxids.

La oxidació humida és la unitat de la planta on es redueix la càrrega orgànica present a l'aigua mitjançant una reacció d'oxidació en medi líquid a alta pressió (90 atm) i temperatura (295 °C) en presència d'oxigen.

D'altra banda, el procés de tractament d'aigües residuals mitjançant la utilització de fangs actius incorpora la utilització de carbó actiu polvoritzat. Aquesta unitat té associada una altra unitat de regeneració del carbó actiu.

2.7.1. Unitat WAO (*Wet Air Oxidation*)

La unitat WAO té la funció de reduir el contingut de matèria orgànica dissolta en l'aigua dels següents corrents:

- **ACC:** drenatges d'elevada càrrega contaminant de la planta de OP / SM

- **POE:** drenatges de la planta de poliols flexibles i polimèrics

Es realitza un pretractament abans d'introduir el corrent residual a la unitat de tractament biològic. Ambdues corrents s'alimenten al reactor WAO a una pressió de 100 atm i una temperatura entre 285 i 290 °C.

L'oxigen necessari per a realitzar les reaccions d'oxidació al reactor s'aporta mitjançant un compressor d'oxigen que aspira d'un col·lector de subministres de Messer, descarregant-lo al reactor a una pressió de 98 atm. Al corrent d'oxigen se li afegeix vapor d'aigua a una pressió de 70 atm per evitar el retrocés de producte orgànic i tenir reaccions d'oxidacions a la línia d'entrada.

El corrent de sortida del reactor, que conté líquid oxidat i gasos formats a la reacció, es despressuritza de 95 a 5 atm i es refreda per a poder ser enviat al tanc d'alimentació del tractament biològic.

2.7.2. Unitat PACT (*Powered Activated Carbon Treatment*)

La unitat de PACT és una unitat de tractament biològic amb fangs actius amb dues etapes en sèrie, que incorporen l'addició de carbó actiu en pols. Els corrents d'alimentació d'aquesta secció són tres:

- Efluent oxidat de la unitat WAO
- Aigua residual d'abocaments en zones de procés de baixa càrrega contaminant
- Purga àcida: es tracta d'un corrent aquós procedent de la planta de SM / OP amb un elevat contingut en peròxids

Els tres corrents es menen al primer reactor, on es produeix la major part de l'eliminació dels compostos orgànics dissolts a l'aigua (87 % de reducció). Els corrents d'aigües residuals es mesclen en aquesta bassa amb àcid fosfòric, sulfat amònic, carbó actiu regenerat, fang actiu i aire per a garantir una concentració d'oxigen dissolt mínim de 2 ppm. A la sortida d'aquesta primera etapa hi ha un clarificador on es separa un sobrenedant d'un sòlid que conté carbó i biomassa. L'aigua clarificada es mena a la segona etapa mentre que el sòlid es retorna a la primera etapa (tot i que una part s'envia a purgar).

L'efluent de la segona etapa s'envia a una segon clarificador on s'obté un corrent d'aigua tractada. Aquest corrent s'envia a uns filtres de sorra que eliminen els sòlids en suspensió abans i després s'emmagatzema per al seu posterior ús.

2.7.3. Unitat OHP (oxidació humida amb peròxids)

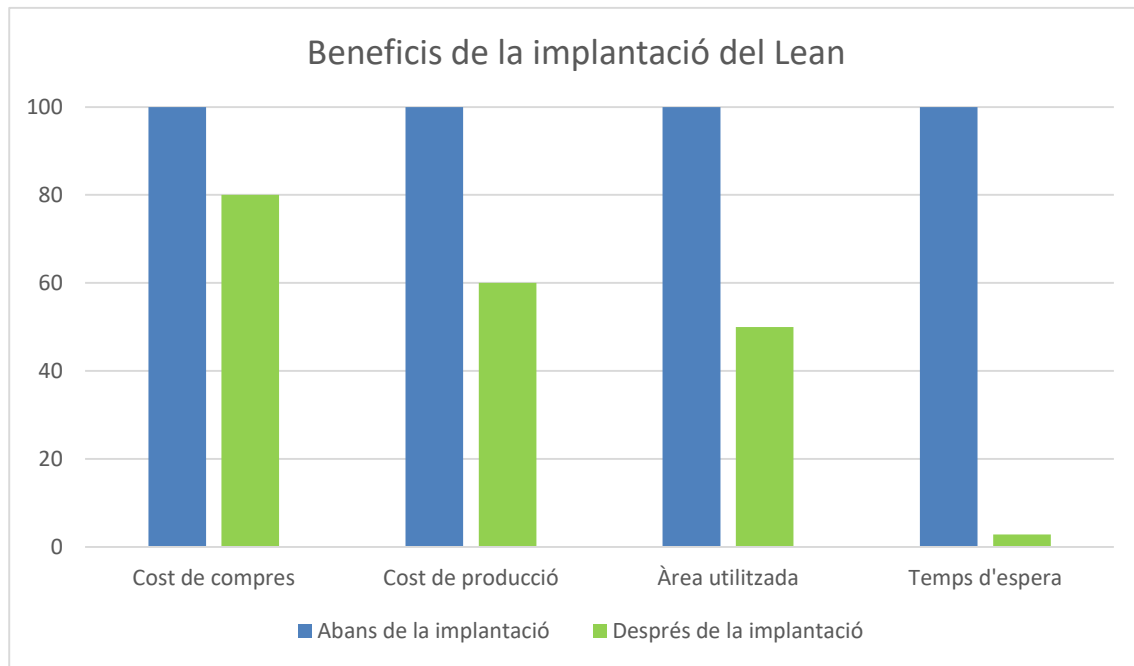
El sistema OHP es basa en la reacció de Fenton, que consisteix la oxidació per la via humida amb aigua oxigenada. El corrent que es tracta en aquesta unitat ja conté peròxids orgànics i la finalitat de la unitat és reduir la càrrega orgànica aprofitant el propi peròxid de l'efluent. Aquesta reacció es veu potenciada en presència de sals i unes condicions de reacció específiques (pH àcid i pressió i temperatura ambientals) que afavoreixen l'aparició de radicals hidroxil. Així doncs, l'efluent de reacció es neutralitza i passa a través d'un sistema fisicoquímic des del qual l'efluent, amb menor càrrega orgànica, es mena al tractament biològic.

3. Metodologia LEAN

Lean Manufacturing és una filosofia de treball basada en les persones, que defineix la forma de millora i optimització d'un sistema de producció, basant-se en la identificació i eliminació de tot tipus de "malbarataments", definint com a malbarataments tots aquells processos o activitats que utilitzen més recursos dels estrictament necessaris.

Busca principalment eliminar la sobreproducció, els llargs temps d'espera, despeses de transport, excés de processat i defectes, és a dir, tot allò que s'està fent i que no repercuteix en un valor afegit al producte.

Per aconseguir aquest objectiu, Lean desplega una aplicació sistemàtica i habitual d'un conjunt de tècniques que cobreixen la totalitat de les àrees operatives, estandarditzant processos i fent-los a prova de errors. Els beneficis derivats de la implantació del Lean són evidents i estan demostrats, tal i com es mostra en el gràfic 3.1.



Gràfic 3.1. Beneficis de la implantació de la Metodologia Lean segons un estudi realitzat per *Aberdeen Group*⁶ a més de 300 empreses nord-americanes.

L'objectiu final de la seva implantació és generar una nova cultura basada en la millora continua i en la comunicació i el treball en equip, buscant noves formes de fer les coses més àgils, flexibles i econòmiques. No és un concepte estàtic que tingui una definició concreta ni una filosofia radical que trenqui amb altres mètodes. El major avantatge és que deriva d'estudis realitzats a peu de màquina pels propis operadors, recolzant així la seva pro-activitat i que s'implanta amb el total convenciment de la directiva, implicant així a tota l'empresa en els seus diferents estrats.

Des del punt de vista de l'excel·lència, qualsevol empresa que desitgi competir en el mercat actual s'han de plantejar els següents objectius, que són també part del procés Lean de millora⁶:

- Reduir els temps de preparació de màquines / plantes per incrementar la flexibilitat i disminuir els temps d'execució
- Assolir una distribució de la planta que garanteixi l'inventari mínim, el mínim recorregut i que faciliti el seguiment
- Eliminar la variabilitat del procés, ja que és la que sol donar lloc a errors
- Organitzar adequadament el lloc de treball per a reduir els temps de recerca
- Formar als treballadors per a facilitar la motivació i polivalència

- Garantir que el personal de planta sigui el primer en intentar solucionar els problemes

Per tal de posar en pràctica totes aquestes idees, la metodologia Lean disposa d'una àmplia varietat de tècniques. Les eines que s'han implementat i el procés de la seva implantació així com les millores aconseguides es descriuen a continuació.

3.1. 5S

Les 5 esses consisteixen en una aplicació sistemàtica dels principis d'ordre i higiene en els llocs de treball. L'acrònim correspon a les inicials en japonès, que signifiquen:

- **Seiri:** eliminar elements innecessaris
- **Seiton:** ordenar
- **Seiso:** netejar i inspeccionar
- **Seiketsu:** estandarditzar
- **Shitsuke:** crear l'hàbit

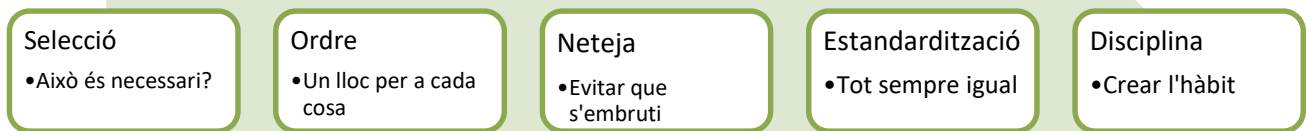
Com es pot observar, les 5S no introdueixen cap concepte nou per a cap empresa, però malauradament, sí que ho és. Aquesta tècnica s'aplica a tota la plantilla, obtenint grans resultats degut a la seva senzillesa i efectivitat. A més a més, és una bona forma de que el personal se n'adoni de la importància de que el seu propi entorn depèn d'ell mateix i de que la qualitat comença amb coses molt immediates, de tal forma que s'aconsegueix una actitud positiva.

També es pot observar que per a la implantació d'aquesta tècnica no es requereix d'una gran inversió econòmica ni una gran formació. Tanmateix, darrera d'aquesta simplicitat aquesta és una eina potent i multifuncional. Amb la seva implantació es pretén evitar els símptomes següents:

- Aspecte brut de la planta: màquines, instal·lacions tècniques...
- Desordre: passadissos ocupats, estanteries desordenades...
- Elements trencats: vidres, senyals, indicadors...
- Falta d'instruccions simples i entenedores de neteja
- Número important d'averies per equips en mal estat

- Desinterès dels empleats pel seu propi lloc de treball
- Moviments i recorreguts innecessaris, tant de persones com de materials
- Falta d'espai

La correcta implantació d'aquesta eina i el seus principis bàsics es mostren en el Gràfic 3.1.1.



Gràfic 3.1.1. Principis bàsics i implantació de les 5S

3.2. Estandardització

La estandardització, juntament amb les 5S, suposen els fonaments del Lean. Una bona definició d'estàndard és que són descripcions escrites i gràfiques que ens ajuden a comprendre les tècniques més eficaces d'una fàbrica i ens permeten contribuir a fer productes de qualitat de manera fiable, segura, econòmica i ràpida.

La estandardització s'ha convertit en el punt de partida i la culminació de la millora continua, ja que no s'ha d'entendre que un estàndard és una informació fixa, sinó que s'ha d'anar adaptant i millorant sempre que sigui possible. Les característiques que ha de complir una correcta estandardització són les següents⁷:

1. Han de ser descripcions clares i precises dels millors mètodes per produir
2. Han de procedir de les millors tècniques i eines disponibles per a cada casa
3. S'ha de garantir el seu compliment
4. S'han de considerar sempre com a punt de partida per a millores posteriors

A més a més, estandarditzar és molt important per a posteriors etapes del procés en que s'estudien dades per saber on estan les possibles pèrdues d'eficiència. Així doncs, és molt important estandarditzar aquesta recollida de dades per tal que sigui homogènia i no pugui donar lloc a errors o a impressions equivocades.

3.3. Tècniques de control visual

Les tècniques de control visual són un conjunt de mesures pràctiques de comunicació que volen destacar la situació d'un sistema productiu fent especial menció a les anomalies o als malbarataments, per tal de poder-les millorar i solucionar. El control i la comunicació visual permet la ràpida difusió de missatges entre la directiva i els operaris i entre els operaris i la directiva, de tal manera que els treballadors tenen la oportunitat de contribuir, transmetre i rebre coneixements. Les taules de gestió visual són excel·lents espais que serveixen per orientar el flux d'idees i analitzar una situació.

Per fer aquest seguiment, primerament s'han d'haver definit els KPI's (*Key Performance Indicator*), que són els indicadors propis de cada departament. S'utilitzen per saber si les mesures que s'estan duent a terme són adequades i proporcionen el rendiment desitjat. Dit d'una altra manera, els KPI's ens permeten mesurar l'èxit de les accions realitzades. Les característiques que ha de complir un KPI són les següents:

1. Ha de poder ser mesurat fàcilment. Per exemple, si estem parlant d'una línia de producció, podríem escollir com a indicador els productes fabricats per hora
2. Els KPI han de ser assolibles. Els objectius plantejats a l'hora d'escollir aquests indicadors ha de realista. Per exemple, no es pot esperar doblar la producció sense plantejar una millora de la instal·lació o contractar més personal
3. Ha de ser un fet rellevant del procés, ja que ens ha de proporcionar informació útil i significativa del procés
4. S'han de mesurar amb freqüència, sovint diària o setmanalment com a molt. Les dades obtingudes s'han de gestionar a curt termini tot i que els resultats s'esperin a llarg termini
5. Els KPI han de promoure accions, és inacceptable que algun dels indicadors escollits mostri que el procés té pèrdues d'eficiència i no prendre mesures

Un cop s'han escollit els KPIs, el seu seguiment es du a terme gràcies a la gestió visual.

3.4. Tècniques de qualitat

La garantia de l'alta qualitat constitueix el pilar fonamental de la metodologia Lean, entenent com a qualitat el compromís de l'empresa de fer les coses bé a la primera i en totes les seves àrees per tal d'aconseguir una plena satisfacció dels clients⁸.

El que es vol aconseguir és que cada empleat es converteixi en un inspector de qualitat, sense fer distincions entre els operaris de línia i els del sector de qualitat, per tal que quan es detectin defectes, aquests siguin ràpidament solucionats. Per assolir aquests objectius, el Lean proposa una sèrie de mesures, entre les que destaca l'anàlisi PDCA.

3.4.1. PDCA

L'anàlisi PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) és una de les tècniques fonamentals a l'hora d'identificar i corregir els defectes. El funcionament s'explica a la Figura 3.4.1.1.

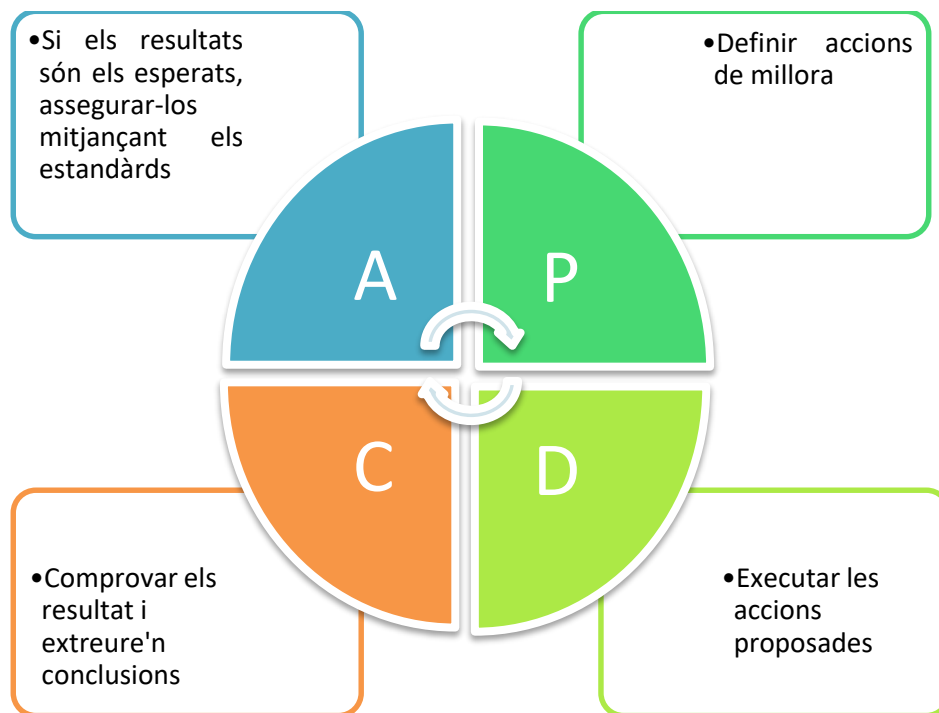


Figura 3.4.1.1. Esquema del funcionament de l'anàlisi PDCA

La metodologia d'aplicació es pot resumir en els següents passos:

- **Analitzar la situació inicial.** Aquest anàlisi pot ser, per exemple, un qüestionari de satisfacció pels operaris per tal de saber la seva opinió i que és el que es pot millorar
- **Planificar i estudiar la viabilitat de les propostes.** Un cop finalitzat l'anàlisi inicial, s'estudien els resultats obtinguts, es detecten els punts susceptibles de millora i les tècniques a utilitzar. En aquesta fase, és quan convé crear els indicadors (KPI), quantificar els seus valors inicials i definir els objectius per a poder fer-ne el seguiment

- **Implantació.** Un cop selecciones les accions que s'han d'executar i definits els indicadors, es duen a terme les accions
- **Verificar l'efectivitat de les millores.** Gràcies al seguiment que es realitza amb la gestió visual dels indicadors, s'observa si s'han aconseguit els objectius proposats. Si no s'han assolit, s'investigarà el per què i es tornen a realitzar noves propostes, tornant a començar així el cicle fins a obtenir uns resultats òptims.

3.5. SCRA i CEDAC

L'SCRA (Síntoma-Causa-Remei-Acció) i CEDAC (*Cause and Effect Diagram with Addition of Cards*) són dos mètodes que s'utilitzen per solucionar problemes detectats en el seguiment de la gestió visual, quan s'observa que algun indicador presenta alguna anomalia. Depenent de si aquesta anomalia és un fet puntual o si es un problema crònic, es farà servir una eina o l'altra.

- **L'SCRA** serveix per solucionar un problema puntual, amb una causa concreta, i una solució concreta, més o menys complexa depenent de cada problema. La sistemàtica és anar fent preguntes successives sobre el que ha passat fins arribar a la causa arrel. Un cop trobava la causa arrel, es plantegen les solucions i les accions corresponents. És important que l'SCRA compti amb la presència de qui va sofrir la incidència per tal de que sigui més efectiu i que l'acció que se'n derivi tingui una data màxima d'implantació. La durada estimada d'un SCRA és de 20 minuts.
- **CEDAC** és una eina per solucionar un problema crònic que sovint ve causat per diverses causes, que per solucionar-lo es necessari prendre diverses accions i, sovint, per diversos departaments. En la primera reunió d'un CEDAC, un cop detectat el problema crònic que es vol solucionar, es fa una pluja d'idees en la que es van apuntant en post-it de color groc les possibles causes de la pèrdua crònica. Un cop acabada la pluja d'idees, es proposen solucions en un post-it de color blau. Tot seguit, es prioritzen aquestes solucions segons la rapidesa, cost i efectivitat i es realitzen les accions que hagin sortit més prioritzades, establint qui i quan les ha de dur a terme. Degut a la complexitat que solen presentar els problemes dels que se'n deriva un CEDAC, aquest es tracta en reunions d'unes

dues hores, setmanal o quinzenalment. Un CEDAC es considerarà realitzat quan s'observa que es manté una bona tendència en l'indicador que té associat durant, com a mínim, quatre setmanes consecutives.

4. Implantació del Lean en el departament de Logística

El Complex Industrial de Tarragona disposa, entre d'altres, d'un servei de Logística Operativa, que té els següents objectius¹:

- Rebre, emmagatzemar i entregar a les unitats de producció les matèries primeres que entren al complex, ja sigui per carretera o per ferrocarril
- Carregar i expedir els productes finals que es fabriquen al complex via carretera o ferrocarril, a més a més del seu correcte emmagatzemament

Per tal de poder complir aquests objectius, l'àrea de Logística disposa de les àrees següents:

- **Estació de càrrega:** és la zona del complex on es carreguen productes líquids tals com butadiè, estirè monòmer, òxid de propilè, glicols i poliols. També es descarreguen matèries primeres tals com glicerina, sosa, potassa, àcid acètic i sulfúric
- **Emmagatzematge i càrrega de poliolefines:** és on s'emmagatzemen els productes acabats de les plantes de PEBD, PEAD i PP. També es carreguen camions i cisternes els productes anteriorment mencionats
- **Emmagatzematge i recepció de matèries primeres:** és la zona on es reben les matèries primeres en envasos discrets (pallets, octavins...). També controlen que aquestes es rebin sempre a temps i que hi hagi un determinat *stock* de seguretat

L'organigrama corresponent al departament de Logística es mostra a la Figura 4.1.

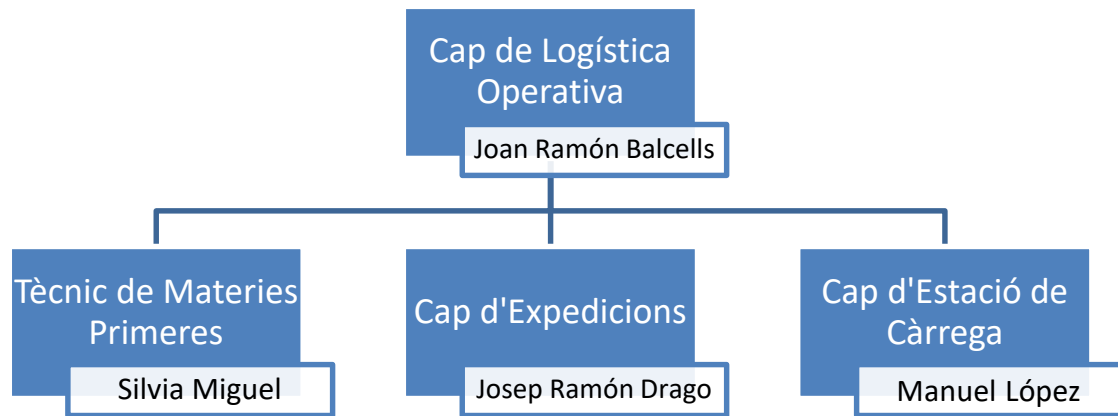


Figura 4.1. Organigrama del departament de Logística Operativa de Repsol Química S.A. (Tarragona)

La primera fase de la implantació del Lean va ser la definició dels indicadors per a cada secció del departament de Logística segons els paràmetres de *Quality (Q)*, *Delivery (D)* i *Cost (C)*.

- **Estació de càrrega:**
 - *Quality*: N° de camions no carregats correctament a la 1a
 - *Delivery*: temps d'espera entre que el camió arriba i es carrega
 - *Cost*: eficiència dels treballadors^d
- **Expedicions**
 - *Quality*: N° de camions refusats
 - *Delivery*: temps d'espera entre que el camió arriba i es carrega
 - *Cost*: residus generats per cada tona expedida
- **Matèries primeres**
 - *Quality*: nombre de desajustos d'inventari
 - *Delivery*: nombre d'errors en entrega
 - *Cost*: valor de l'stock global

Un cop definits els indicadors, es va posar en marxa la part de recollida de dades, que porta implícita la part d'estandardització per tal que totes les dades recollides siguin homogènies, clares i entenedores.

^d S'entén com a eficiència dels treballadors el temps teòric de jornada laboral (7:30 hores diàries) dividit entre els temps real treballat. És un indicador de cost perquè són camions potencialment no carregats.

Per tal de dur a terme aquesta tasca a estació de càrrega, es va elaborar un diccionari d'incidències on estaven recollides, agrupades i estandarditzades (en temps) les incidències més habituals d'aquesta secció del departament. En la figura 4.2. es mostra el diccionari d'incidències de *Quality* que recull en una fulla Excel aquelles incidències que fan augmentar el temps de càrrega física i d'estància al complex dels camions.

Q1A	Nombre de cisternes compartimentades	Nº
Q1B	Infracarga o sobrecarga del camió	Nº
Q1C	Cargar producte equivocat	Nº
Q1D	Averia pròpia	Nº
Q1E	Averia impròpia	Nº
Q1F	Repetició de mostra	Nº
Q1G	Altres Q1	Nº
Q2A	Error intern de documentació	Nº
Q2B	Càrrega prèvia no permesa	Nº
Q2C	Documentació caducada	Nº
Q2D	Vehícle inapropiat	Nº
Q2E	Falta de documentació o documentació en mal estat	Nº
Q2F	Altres Q2	Nº
Q1	Nº de camiones no cargados OK a la primera	Nº
Q2	Error de documentació	Nº

Figura 4.2. Diccionari d'incidències de *Quality* de la secció d'estació de càrrega.

Per tal de poder establir un estàndard de temps^e de les incidències i dels temps de càrrega es van considerar com a òptims els temps mitjà del primer quartil.

Per exemple, per a calcular el temps mitjà de càrrega d'una cisterna d'estirè es van seleccionar de forma aleatòria 100 càrregues que es sabia amb certesa que no havien patit cap incidència. D'aquestes 100, es va considerar el primer quartil, és a dir, les 25 càrregues realitzades més ràpidament i se'n va fer la mitjana. Aquesta mitjana es va considerar que era el temps òptim de càrrega d'una cisterna d'estirè i, per tant, el temps estàndard de càrrega d'estirè. Tota càrrega que superés aquest temps estàndard en un 20 % més, es consideraria una incidència i es tractaria com a tal. Es va repetir aquest procediment per a tots els productes i per a totes les incidències^f.

Un cop les incidències estan descrites adequadament, es passa a la recollida d'informació per part dels operaris. Per tal que la informació sigui el més real possible,

^e S'entén com a estàndard el temps òptim que hauria de suposar una incidència o activitat determinades.

^f Per motius d'estricta confidencialitat no es poden mostrar les dades analitzades ni els temps estàndard que se'n deriven.

es va demanar als operadors que apuntessin el nombre d'incidències que patien al llarg del dia i ho entreguessin al cap de torn, que seria l'encarregat d'omplir la fulla Excel de seguiment i així poder analitzar quin era el problema majoritari, obtenint un gràfic com el que es mostra a la Figura 4.3.

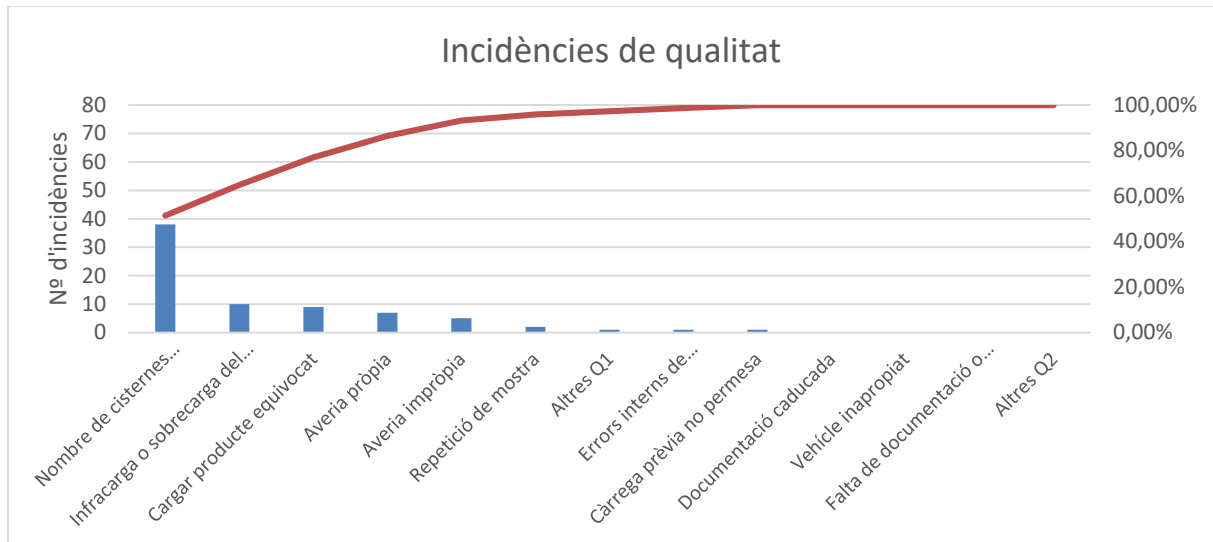


Figura 4.3. Gràfic del nombre d'incidències de qualitat. La línia vermella mostra el percentatge acumulat que representen les incidències.

Aquest procediment de crear el diccionari d'incidències, recollir les dades i transcriure-les, es va repetir per als indicadors de *Cost* i *Delivery*.

Tot i que es van definir els indicadors per a les diferents seccions del departament, la instauració de la recollida de dades i el seu posterior anàlisi va començar a estació de càrrega com a sector pilot. Així doncs, es va instaurar el que anomenem cicle curt i cicle llarg:

- **Cicle curt:** és una reunió diària en la que s'observen i analitzen les dades obtingudes del dia anterior. Aquesta reunió es realitza pels propis operadors, sense la participació de la directiva. La principal funció d'aquesta reunió de cicle curt és trobar el problema o la incidència més greu soferta el dia anterior i realitzar-ne un SCRA per tal de solucionar aquest problema d'arrel i que no es torni a repetir. Es recomana que la durada d'aquesta reunió no superi els 20 minuts
- **Cicle llarg:** les reunions de cicle llarg es realitzen cada dues setmanes i en elles s'analitzen els valors dels indicadors de la quinzena passada. És una reunió convocada i dirigida per la directiva, tot i que pot tenir la participació dels

treballadors per tal de clarificar alguna incidència soferta durant el període. Analitzant els indicadors i les seves tendències s'observa si hi ha existència d'un problema de caràcter crònic que no pot ser solucionat mitjançant un SCRA. Si aquest fos el cas i la directiva ho considerés oportú, s'obriria un CEDAC per tractar el problema a fons i mirar de solucionar-lo. La reunió de cicle llarg té una durada aproximada de 2 hores

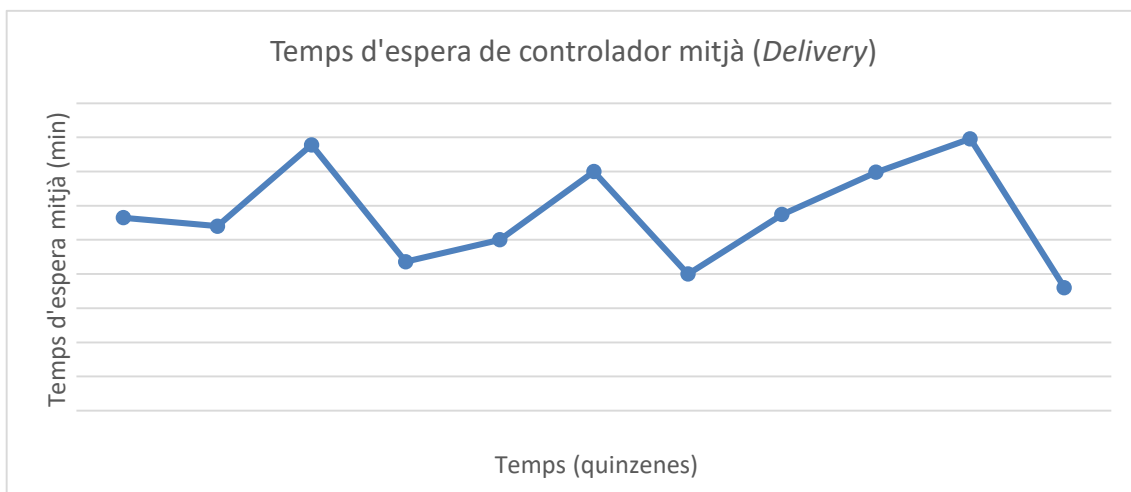
Un cop aquesta metodologia de treball va estar implantada, es van poder estudiar i analitzar de forma concisa les dades (indicadors) i fer-ne el seguiment en el temps.

5. Resultats i discussió

La implantació de la Metodologia Lean al departament de Logística ha permès recopilar, estandarditzar i estudiar les dades corresponents als indicadors prèviament establerts, fet que facilitarà que en una fase posterior del projecte es puguin dur a terme més accions i seguir-ne el seu efecte al llarg del temps.

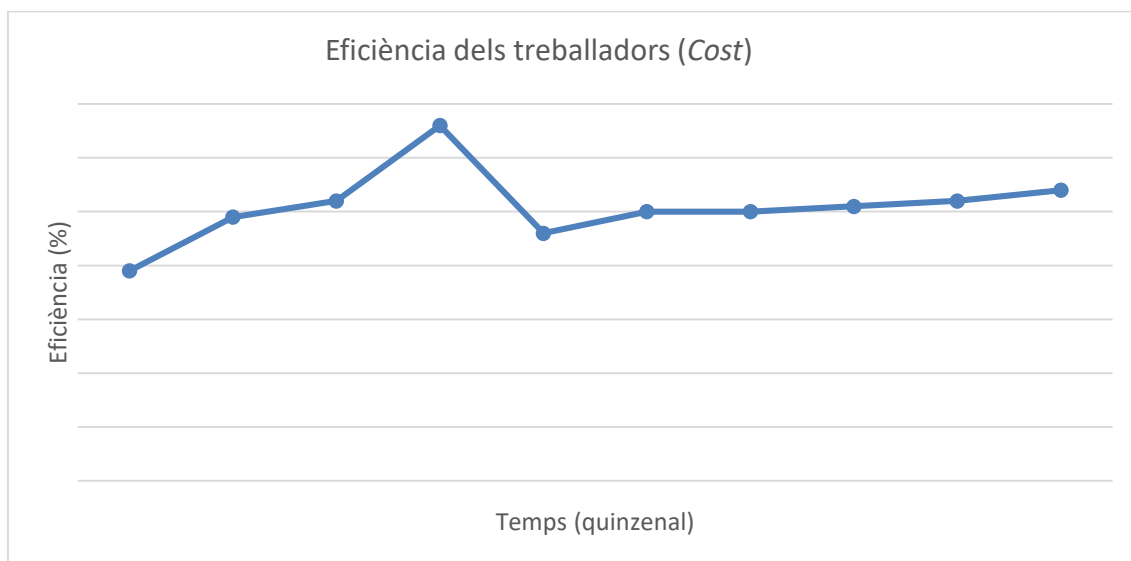
En el Gràfic 5.1^g, es mostra l'evolució de l'indicador de *Delivery*. Es pot observar que no hi ha una tendència fixa, sinó que el temps d'espera fluctua. Aquesta fluctuació és deguda a la variabilitat en el nombre de cargues. Es pot observar una lleugera millora respecte al principi, és a dir, que s'ha reduït lleugerament el temps d'espera, que era el que s'esperava, ja que les accions que es creu que poden tenir un major impacte comporten una inversió i encara no s'han pogut executar.

^g Per motius d'estricta confidencialitat no es poden mostrar els valors dels eixos dels diferents gràfics tot i que sí que se'n poden mostrar la tendència i evolució.



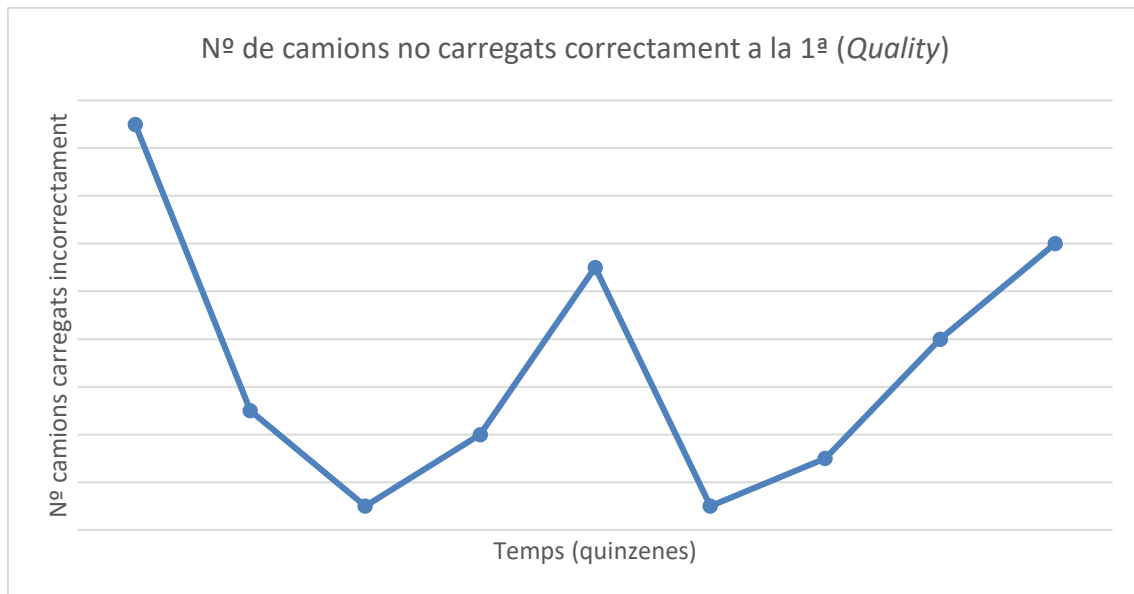
Gràfic 5.1. Temps d'espera mitjà des que el camió arriba a estació de càrrega i se li assigna un carregador, indicador de *Delivery*.

Analitzant l'indicador de *Cost* (Gràfic 5.2.) s'observa clarament que s'ha aconseguit millor l'eficiència. Això és resultat de la disminució del nombre d'incidències que els operaris sofrien durant la càrrega, que alhora es gràcies als SCRA que s'han anat realitzat cada cop que s'observava alguna anomalia.



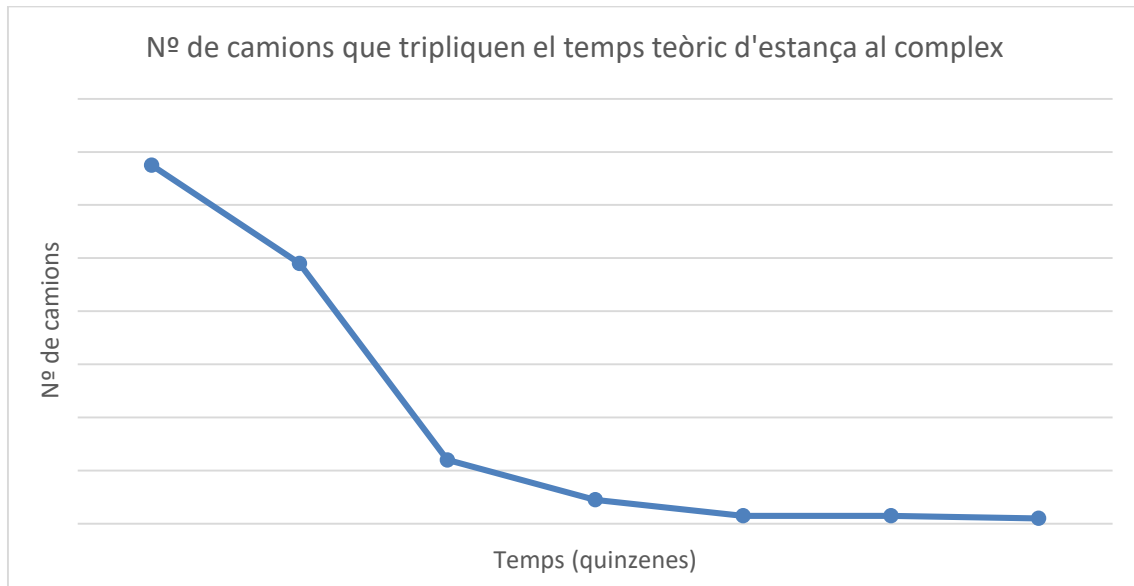
Gràfic 5.2. Eficiència dels treballadors, indicador de *Cost*.

De l'anàlisi de l'indicador de *Quality* (Gràfic 5.3.) podem extreure que s'ha aconseguit reduir significativament el nombre de camions no carregats correctament a la primera, és a dir, que patien alguna incidència en la càrrega. Això també és gràcies a les petites accions sorgides dels SCRA.



Gràfic 5.3. Nombre de camions no carregats correctament a la primera, indicador de *Quality*.

També es va observar, tal i com es mostra al Gràfic 5.4. que el nombre de camions que triplicaven el temps d'estança teòric al complex va disminuir significativament quan s'anaven prenent mesures.



Gràfic 5.4. Nombre de camions que tripliquen el temps estàndard d'estança al complex.

6. Conclusions i futures perspectives

After the realisation of this report, several conclusions have been reached:

- *The implantation of Lean Manufacturing dynamic methodology in charging station as a pilot test of the department has been successfully achieved, reaching the monitoring of data obtained in daily operators' meetings and weekly leadership meetings*
- *Charge and stay times of the vehicles in the complex have been standardised as well as optimised, achieving a lower remaining time in the complex and faster expedition rate*
- *It has been possible to monitor the impact of the tasks made in the department originated from SCRA. Furthermore, incident number has been improved*

Futures challenges of this project would be to keep working in the actions performed in order to continue improving the indicators by using SCRA derivate actions and also to consider new actions.

In the same way, another challenge would be to perform the Lean dynamics in all the department.

Durant la realització d'aquest treball s'han extret les següents conclusions:

- S'ha aconseguit implantar la dinàmica de la metodologia Lean en la secció d'estació de càrrega com a prova pilot del departament, aconseguint fer un seguiment de les dades en les reunions diàries per part dels operaris i de les setmanals per part de la directiva
- S'han estandarditzat i optimitzat els temps de càrrega i d'estança al complex de vehicles, assolint un menor temps d'estança al complex i una major velocitat d'expedició
- S'ha pogut realitzar el seguiment de les accions realitzades derivades dels SCRA així com també s'han aconseguit reduir el nombre d'incidències sofertes

Els reptes futurs que planteja aquest projecte són, principalment, mantenir les accions que s'estan duent a terme per tal de millorar els indicadors definits gràcies als SCRA i plantejar-ne de noves. El pròxim pas és instaurar la dinàmica aconseguida a estació de càrrega a la resta de seccions del departament.

7. Bibliografía

- (1) Calidad, D. de C. y G. de. *Manual de Acogida del C.I. Tarragona*, 3a Edición.; Repsol Química S.A.: Tarragona, 2007.
- (2) Padilla Moral, A. *SISTEMAS CATALÍTICOS BINARIOS CROMOMETALOCENO PARA LA PRODUCCIÓN DE POLIETILENO BIMODAL*; Móstoles, 2011.
- (3) Dong, F.; Deng, R. *Olefin Polymerization with Ziegler-Natta Catalyst*; 2016.
- (4) Toribio, P. P.; Campos-Martin, J. M.; Fierro, J. L. G. Liquid-phase ethylbenzene oxidation to hydroperoxide with barium catalysts. *J. Mol. Catal. A Chem.* **2005**, 227 (1-2), 101-105 DOI: 10.1016/j.molcata.2004.10.003.
- (5) Ionescu, M. *Chemistry and Technology of Polyols for Polyurethane*; 2008.
- (6) Hernández Matías, J. C.; Vizán Idoipe, A. *Lean manufacturing*, 1a Edició.; Fundación EOI: Madrid, 2013.
- (7) Shingo, S.; Liker, J. *Fundamental Principles of Lean Manufacturing*, 1a edició.; Productivity Press, 2009.
- (8) Fernández Gómez, M. *Lean Manufacturing en español*, Edició Dig.; 2014.