



Projecte final de grau

Planta de producció d'Anhídrid Ftàlic

*Tutora: M^a Eugenia Suárez Ojeda
Carmen Garcia Navas
Emma Johana Mesa Quiñones
Victor Ruiz Guijarro
Karen Velert Castro*

UAB

e escola
d'enginyeria

Bellatera, Febrer de 2018



Capítol 1

Especificacions del Projecte

ÍNDIX

1.1. Definició del projecte.....	3
1.1.1. Bases del projecte	3
1.1.2. Abast del projecte.....	3
1.1.3. Abreviacions.....	3
1.2. Compostos que intervenen	5
1.2.1. Matèries primeres.....	5
1.2.2. Catalitzador.....	6
1.2.2.1. Una gran varietat de catalitzadors.....	7
1.2.2.2. El catalitzador escollit	8
1.2.3. Producte d'interès.....	8
1.2.4. Subproductes	9
1.2.4.1. CO ₂ i CO	9
1.2.4.2. Orto-tolualdehid	10
1.2.4.3. Ftalida.....	11
1.2.4.4. Anhídrid maleic.....	11
1.2.4.5. Àcid benzoic.....	12
1.3. Localització geogràfica.....	13
1.3.1. Paràmetres d'edificació	13
1.3.2. Comunicacions i accessibilitat de la planta.....	15
1.3.3. Característiques de la zona	18
1.4. Processos de producció	20
1.4.1. Procés BASF.....	20
1.4.2. Procés Rhône-Progil.....	22
1.5. Descripció del procés de producció.....	23
1.5.1. Introducció.....	23
1.5.2. Procés seleccionat.....	24
1.5.3. Diagrama de blocs.....	27
1.5.4. Diagrama de procés.....	29
1.6. Constitució de la planta.....	31
1.6.1. Descripció de la planta.....	31
1.6.2. Distribució per àrees	31
1.7. Serveis disponibles.....	36
1.7.1. Energia elèctrica	37
1.7.2. Gas natural	37
1.7.3. Nitrogen.....	38



Capítol 1. Especificacions del projecte

1.7.4.	Aire comprimit	38
1.7.5.	Aigua de xarxa	38
1.7.6.	Aigua descalcificada	39
1.7.7.	Torre de refrigeració	40
1.8.	Programació temporal i muntatge de la planta.....	41
1.9.	Balanç de matèria	43
1.10.	Bibliografia	49



1.1. Definició del projecte

Projecte de disseny d'una planta de fabricació d'Anhídrid Ftàlic realitzat per l'empresa ANPHA S.A.

1.1.1. Bases del projecte

L'objectiu principal del present projecte és el disseny d'una planta química que produeix 30.000 tones a l'any d'anhídrid ftàlic ($C_6H_4(CO)_2O$) a partir de l'oxidació d'orto-xilè ($C_6H_4(CH_3)_2$) amb aire (O_2) conjuntament amb l'estudi i la viabilitat de la seva construcció.

1.1.2. Abast del projecte

Per dur a terme la realització del present projecte, ha estat necessària la realització dels següents punts:

- Disseny i especificacions de les unitats de reacció, tractament i purificació de l'anhídrid ftàlic.
- Disseny i especificacions de les unitats d'emmagatzematge de matèries primeres i productes.
- Disseny i especificacions del sistema d'instrumentació i control.
- Especificacions de seguretat i higiene de la planta.
- Disseny i especificacions de les unitats de serveis.
- Estudi mediambiental. Disseny del tractament d'emissions i residus generats.
- Avaluació econòmica. Estudi de la viabilitat de la planta.
- Especificacions de la posada en marxa, parada i operació de la planta
- Elaboració de plànols, P&ID i diagrames d'implementació.

1.1.3. Abreviacions

Al llarg del projecte s'ha treballat amb una nomenclatura prèviament establerta per tal d'anomenar àrees, equips, productes i reactius de manera més simplificada.

A les taules següents es troben detallades les abreviacions emprades:

Taula 1.1. 1 Codi de les diferents àrees de la planta i petita descripció.

NOM DE L'ÀREA	CODI
Emmagatzematge de matèries primeres	A-100
Reacció	A-200
Condensació	A-300
Purificació	A-400
Emmagatzematge de productes finals	A-500
Serveis	A-600
Tractament d'emissions	A-700
Càrrega / descàrrega	A-800
Oficines, vestuaris, laboratoris i sala de control	A-900

Taula 1.1. 2 Codi de les diferents àrees de la planta i petita descripció.

NOM DE L'EQUIP	CODI
Tancs	T
Compressors	K
Bescanviadors de calor	E
Heater in-line i calderes	H
Reactor	PFR
<i>After-Cooler</i>	AC
<i>Switch Condenser</i>	SC
Chiller	CH
Columnes de destil·lació i absorció	C
Cristal·litzador	S
Cargol sense fi	SW
Ventilador	V
Torre de refrigeració	CT
Elevadors de cubetes	BE
Bassa homogeneïtzació	B
Col·lector	CL

Taula 1.1. 3 Codi dels diferents components.

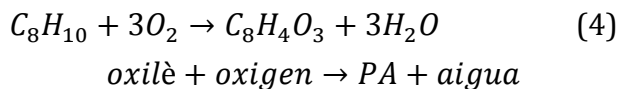
NOM DEL COMPONENT	CODI
Orto-xilè	OX
Anhídrid ftàlic	PA
Anhídrid maleic	MA
Derivat de quitrà	TAR
Diòxid de carboni	CO ₂
Monòxid de carboni	CO

NOM DEL COMPONENT	CODI
Nitrogen	N
Aigua	H ₂ O
Orto-tolualdehid	OT

1.2. Compostos que intervenen

1.2.1. Matèries primeres

Les matèries primeres essencials per a la producció d'anhídrid ftàlic són l'orto-xilè i l'aire.



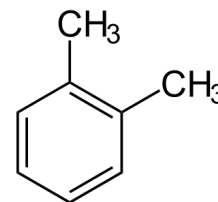
Es fa servir orto-xilè com a matèria primera ja que, tot i que també es podria fer servir naftalè, es dona un millor rendiment amb l'orto-xilè degut a què tots els carbonis que es troben en ell es troben també al producte en la mateixa configuració. Això fa disminuir el consum d'oxigen alhora que el desprendiment de calor. A més, és més econòmic i té una millor dosificació en forma líquida.

Els xilens solen trobar-se als gasos de coc (gasos obtinguts en les destil·lacions d'alguns petrolis), podent-se considerar un subproducte d'algunes plantes petroquímiques, motiu pel qual l'orto-xilè és força econòmic.

Són bons dissolvents i tenen un elevat índex d'octà, motiu pel qual es fan servir a moltes formulacions de combustibles de gasolina. Per això, són fortament inflamables (punt d'inflamabilitat 27°C).

A més són nocius: provoquen nàusees, mal de cap i malestar general, a més d'ésser agents narcòtics. Les exposicions prolongades a aquest compost poden ocasionar fins i tot alteracions en el sistema nerviós central i dermatitis.

L'orto-xilè, també conegut com a 1,2-dimetilbencè (C₆H₄(CH₃)₂), és un anell aromàtic amb un olor semblant al toluè que es presenta com a líquid incolor i inflamable. Per tant, s'hauran de prendre les mesures de seguretat adients per tractar amb productes inflamables i nocius.





Es farà servir orto-xilè comercial al 98,5%.

Té un punt d'ebullició de 144°C i un punt de fusió de -25°.

El seu punt d'inflamabilitat és de 32°C i la seva temperatura d'ignició és de 463°C. Els límits d'explosivitat en tant per cent en volum en l'aire són: 0,9-6,7.

És insoluble en aigua però soluble en alcohol, èter i d'altres compostos orgànics. Té una densitat de 0,865 g/cm³ i una densitat relativa de la seva mescla de vapor amb aire a 20°C d'1,02.

L'oxigen necessari per a l'oxidació de l'orto-xilè es captarà de l'aire, què es filtrarà per evitar l'entrada d'impureses al reactor.

L'aire té una proporció teòrica de 78% de nitrogen, 21% d'oxigen i un 1% d'altres, on els percentatges poden variar lleugerament depenent de la zona i la contaminació de l'aire.

És un gas incolor, inodor e insípid, a més d'inactiu a temperatura ambient. És comburent gràcies a l'oxigen que conté i pot formar òxids a temperatures elevades. Per part del nitrogen, és no inflamable i inert.

1.2.2. Catalitzador

La humanitat utilitza catalitzadors des de fa més de 2000 anys (els primers es van usar en l'elaboració de vi, formatge i pa).

En un procés catalític heterogeni com el d'aquest projecte intervé més d'una fase: el catalitzador és un sòlid i els reactius i productes es troben en estat líquid o gasós. El grau de separació de la mescla de productes (fluids) amb el catalitzador (sòlid) fa que la catàlisi heterogènia resulti econòmicament atractiva, sobretot perquè molts catalitzadors són altament valuosos. Així, una reacció catalítica heterogènia esdevé en la interfase fluid-sòlid (o molt a prop d'ella).

Tenint en compte que el producte objectiu del concurrent procés és l'anhídrid ftàlic, mitjançant l'oxidació parcial de l'orto-xilè, s'ha dut a terme una recerca per l'obtenció del catalitzador òptim. A continuació, se'n resumeixen les troballes més rellevants.

1.2.2.1. Una gran varietat de catalitzadors

La cinètica de l'oxidació de l'orto-xilè sobre els catalitzadors de Vanadi ha estat objecte d'estudis múltiples. En principi, el modelatge cinètic de la reacció es va realitzar per a l' V_2O_5 cristal·lí i a granel però la curiositat i l'augment de recursos en l'àmbit científic han jugat amb aquest catalitzador fins a derivar-ne catalitzadors binaris, ternaris, etc.

El catalitzador V_2O_5 suportat per TiO_2 (*anastasa*) [1] resulta millor que l' V_2O_5 a granel, doncs el Vanadi dispersat per la superfície del diòxid de Titani és més actiu i selectiu que el cristal·lí. Tot i això, aquest catalitzador presenta una superfície moderada i una limitada resistència mecànica. És per aquest motiu que es va començar a investigar l'ús d'òxids $TiO_2 - SiO_2$ barrejats com a suport pel Vanadi i d'aquí esdevingué un tipus de catalitzador ternari [2], amb una selectivitat d'Anhídrid Ftàlic de fins el 85% i a una temperatura màxima de reacció de 600°C. A l'actualitat, aquesta opció és molt prometedora perquè el Titani amb un suport de Silici esdevé idoni per la millora de les seves propietats mecàniques, presenta una superfície més gran i una major estabilitat tèrmica. A més, a mesura que augmenta la temperatura de la reacció, la formació de CO_2 augmenta a costa de l'anhídrid ftàlic i aquesta tendència és més intensa en presència del catalitzador $VTiO_2$ que no pas l' V_2TiSi . Tot i això, per manca de dades cinètiques i de reacció, l' $VTiO_2$ s'ha hagut de descartar.

Un altre tipus de catalitzador que s'ha destinat a l'oxidació de l'orto-xilè es classifica com a catalitzador 'Gelman' [3], de tipus "alemany", que conté un 10% d' V_2O_5 i un 20-30% de K_2SO_4 (el percentatge restant s'atorga al conegut TiO_2), amb una selectivitat d'anhídrid ftàlic de fins el 75% i a una temperatura màxima de reacció de 370°C. A principis del 1940, es va informar que l'acció dels metalls alcalins en el catalitzador d' V_2O_5 fou necessària per a la formació de piro-sulfats, amb punts de fusió més baixos que els corresponents sulfats. Més recentment, es va considerar que el paper del K_2SO_4 era el de subministrar SO_3 a l' V_2O_5 , donant lloc a la formació del complex $V_2O_5 \cdot SO_3$ (responsable de l'activitat catalítica). Així, el K_2SO_4 estabilitza el contingut lliure d' SO_3 del catalitzador i vetlla per la constància del mencionat complex. Tot i això, els paràmetres cinètics resultants de l'estudi d'aquest catalitzador (estudi de màster) no esdevenen massa fiables ni precisos i, per tant, es descarta.

Un quart cas correspon al descobriment de tamisos moleculars mesoporosos, com el Mo-MCM-41 [4]. Aquest utilitza Molibdè d'Amoni com a font de Molibdè per a aplicacions catalítiques. Els MCM-41 tenen una mesoporositat altament ordenada, gran superfície, elevada estabilitat tèrmica i una acidesa moderada. Així, es fa referència a la possibilitat d'aplicar aquests materials com a catalitzadors en la síntesi i conversió de grans molècules, obtenint una selectivitat que assoleix valors de fins el 87.3% a una temperatura màxima de reacció de 350°C. Tot i això, l'estudi es limita a donar dades de porositat i de superfície, no pas de cinètica ni de reacció. Per tant, es descarta.

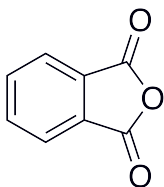
1.2.2.2. El catalitzador escollit

Després de la mencionada recerca, s'ha determinat que el catalitzador escollit és l'**O 4-26** [5], catalitzador d' V_2O_5 suportat per TiO_2 (*anastasa*), pels següents motius:

- Aquest catalitzador assoleix concentracions d'entrada d'orto-xilè de fins a 60 g/m³ d'aire.
- És un dels catalitzadors més moderns i productius per a l'oxidació de l'orto-xilè a anhidrid ftàlic.
- La reacció es pot aconseguir a una conversió superior al 99% i amb un 77% de selectivitat, a una temperatura màxima de reacció de 450°C.
- Les respectives dades cinètiques i de reacció són fiables i precises, i s'adjunten a un document tan rellevant com és el *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*.
- Majoritàriament, tot i que els catalitzadors ternaris semblen més complets, el Vanadi es dispersa per la superfície del Diòxid de Titani.

1.2.3. Producte d'interès

El producte d'interès és l'anhidrid ftàlic, $C_6H_4(CO)_2O$, compost orgànic que s'obté a partir de l'oxidació catalítica de l'orto-xilè.



És un sòlid incolor, amb un característic olor picant. És soluble en aigua calenta, benzè, disulfid de carboni i alcohol.

És un compost d'alta importància en la indústria química ja que és un producte intermedi molt versàtil per ser bifuncional i econòmic. El seu ús principal és en la producció de plastificants a gran escala.

Té un punt d'ebullició de 295°C i un punt de fusió de 130,8°C.

El seu punt d'inflamabilitat és de 152°C i la seva temperatura d'ignició és de 570°C.

Els límits d'explosivitat en tant per cent en volum en l'aire són: 1,7-10,4.

És soluble en aigua fins a 6200ppm a temperatura ambient (25°C). Té una densitat de 1,53 g/cm³. i una densitat relativa de la seva mescla de vapor amb aire d'5,1.

La seva pressió de vapor satura és de $2 \cdot 10^{-4}$ mmHg a 20°C.

Els seus efectes sobre la salut són: És un sensibilitzant respiratori, pel que pot provocar símptomes d'al·lèrgia o asma, pot provocar lesions oculars greus, al igual que irritació en la pell, però .no és cancerigen.

1.2.4. Subproductes

Els subproductes de la producció d'anhídrid ftàlic són: CO_x, Orto-tolualdehid, ftalida, anhídrid maleic i àcid benzoic.

Els subproductes principals són el CO₂ i CO degut a que representen l'oxidació total de l'orto-xilè. L'orto-tolualdehid i la ftalida són subproductes intermedis que, a major conversió s'obtenen en menor quantitat, mentre que l'anhídrid maleic i l'àcid benzoic sí que són subproductes pròpiament dits i s'obtenen en una major quantitat.

1.2.4.1. CO₂ i CO

Els principals subproductes de l'oxidació de l'orto-xilè són els òxids de carboni, degut a que es formen en totes les reaccions i representen l'oxidació total de l'orto-xilè. És a dir, a conversions molt elevades, es minimitza la producció d'orto-tolualdehid (TA) i ftalida (PI) produint-se més CO_x, com es pot apreciar la figura X:

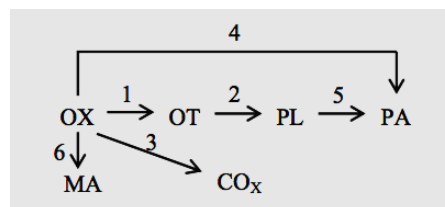
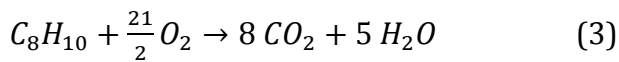


Figura 1.2.4.1. Diagrama de productes i subproductes de l'oxidació de l'orto-xilè.



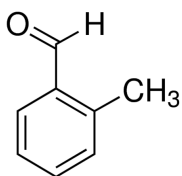
El CO₂ és un gas incolor, vital per a la vida a la Terra. És un gas inert i soluble en aigua. Els principals riscos que pot ocasionar a la salut són per ingestió i inhalació. Per ingestió produeix irritació, nàusees, vòmits i hemorràgies en el tracte digestiu. Per inhalació produeix asfíxia i causa hiperventilació. Una exposició a llarg termini pot ser molt perillosa. És asfíxiat a grans concentracions: a partir de 0,4% és mortal a la hora i el valor llindar límit és de 50ppm (TLV-TWA).

El monòxid de carboni, CO, és un gas incolor i altament tòxic. Pot causar la mort quan es respira a nivells de concentració elevats. Per ingestió pot causar vòmits i diarrea. També pot causar lesions cutànies i problemes de visió a llarg termini. Per inhalació és extremadament perillós: resulta letal.

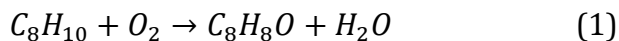
Per això, s'hauran de prendre les adequades mesures de seguretat i fer tractaments de gasos per acomplir la normativa mediambiental d'abocaments.

1.2.4.2. Orto-tolualdehid

L'orto-tolualdehid, també conegut per la seva nomenclatura 2-metilbenzaldehid, C₈H₈O, és un subproducte intermedi de la reacció d'oxidació de l'orto-xilè.



Com ja s'ha esmentat abans, desapareix amb l'oxidació total de l'orto-xilè i s'obté en menor quantitat indirectament proporcional a la conversió d'anhídrid ftàlic.



Té un gust i olor característic a cirera. Es fa servir com a saboritzant principalment en begudes alcohòliques.

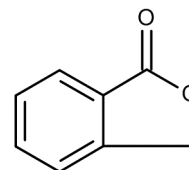
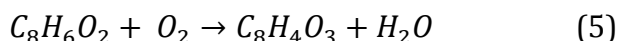
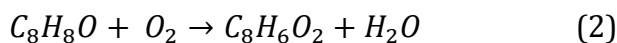
Sofreix degradació atmosfèrica per fotòlisi directa per la llum solar.

És soluble en alcohol i en aigua només fins a 1178 mg/L a 25°C. Té una temperatura d'ebullició de 200°C i un punt d'inflamació de 77°C. La seva pressió de vapor és 0.397 mmHg a 25°C i té una densitat de 1.039 g/mL a 20-25°C.

És nociu i irritant, motiu pel qual està considerat com a perillós segons la classificació GHS de seguretat.

1.2.4.3. Ftalida

La ftalida, $C_8H_6O_2$, s'obté també com a subproducte intermedi de l'oxidació parcial de l'orto-xilè.



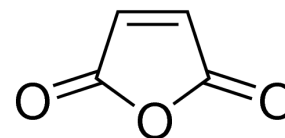
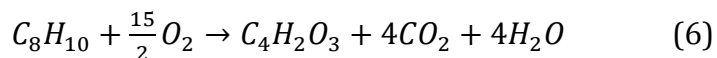
Té un punt d'ebullició de 290°C i un punt de fusió entre 70 i 75°C. La seva temperatura d'ignició és de 455°C i té un punt d'inflamació de 152°C. Té una densitat de 1,1 g/cm³ a 30°C.

És un producte tòxic segons el DL50 5600 mg/kg i contamina lleugerament l'aigua (WGK 1).

1.2.4.4. Anhídrid maleic

L'anhídrid maleic, $C_2H_2(CO_2)_2$, és un sòlid incolor o blanc amb olor acre.

Es produeix com a subproducte de l'oxidació de l'orto-xilè:



És una matèria prima molt versàtil, es pot fer servir en la producció de moltes substàncies. Gràcies a la presència del seu doble enllaç, sol usar-se en la producció de copolímers. És per això que es podrà rentabilitzar, venent-la.

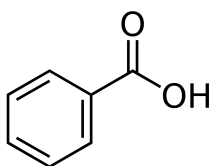
Té un punt d'ebullició de 202°C i un punt de fusió d'entre 53°C. A temperatura ambient té una aparença de cristalls blancs.

L'anhídrid maleic apart de ser un sensibilitzant respiratori com el PA, també es un sensibilitzant cutani, pel que els seus efectes en contacte amb el tracte respiratori i la pel, són més greus.

pot causar lesions oculars greus, pot causar reaccions asmàtiques a curt termini, podent arribar a causar asma amb una exposició repetida o perllongada. Es pot adsorbir per la pell i produir dermatitis ja que és un corrosiu cutani.

1.2.4.5. Àcid benzoic

L'àcid benzoic, C₇H₆O₂, és un sòlid incolor amb un lleuger olor característic.



Les seves principals aplicacions són com a conservant d'aliments àcids, producció de perfums, condiment en tabac i pastes dentífriques, germicida en medicina i iniciador en reaccions radicalàries i en la fabricació de plastificants i resines.

Té un punt de fusió de 122°C i d'ebullició de 249°C. Té una densitat d'1,32 g/cm³ i és soluble en aigua calenta (70g/l a 95°C front 3,4g/l a 20°C) i dissolvents orgànics.

No és un producte tòxic però pot produir al·lèrgies en persones sensibles.

S'ha de tenir especial cura de no combinar-lo amb àcid absòrbic ja que es pot formar benzè, el qual és altament cancerigen.

1.3. Localització geogràfica

Per a la localització de la planta, s'ha optat per situar-la al terme municipal de Tarragona. Envoltada per nombroses empreses importants del sector químic i petroquímic (com Repsol Petróleo, BASF Espanyola o DOW Chemical Ibérica), Tarragona acull el Complex Industrial Petroquímic més important d'Espanya i del sud d'Europa. Fet que facilitarà a l'empresa una gran disponibilitat de matèries primeres i serveis, així com un bon reclam publicitari i la confiança necessària per a la ràpida i bona incorporació al mercat.



Figura 1.3.1. Plànol de Tarragona.

1.3.1. Paràmetres d'edificació

El terreny destinat a l'edificació de la planta d'anhídrid ftàlic es troba al polígon industrial NYLON-66 de Tarragona, limitant amb els Carrers de la Poliamida i del Ciclohexà i amb les Avingudes del Nylon i del Nítric. Es tracta d'un espai format per graves amb una resistència de 2 kg/cm² a 1.5 m de profunditat. Té una superfície total de 53.235 m². A la **Figura 1.3.2** es mostra la silueta del terreny amb les limitacions del perímetre acotades.

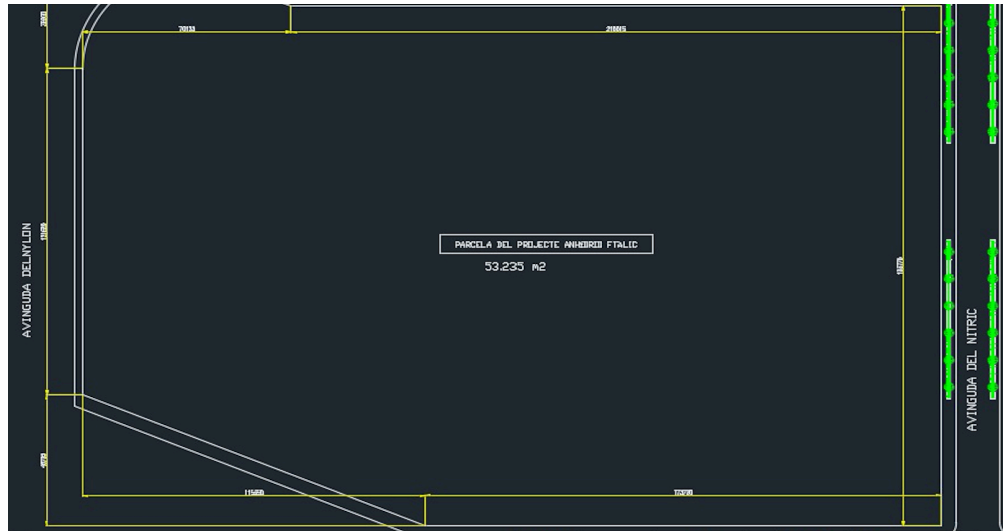


Figura 1.3.2. Plànol del terreny destinat a la construcció de la planta.

Aquesta parcel·la compta amb diversos serveis que es mostren a la **Taula 1.3.1.**

Taula 1.3.1. Serveis disponibles a la parcel·la

ENERGIA ELÈCTRICA	Connexió a peu de parcel·la des de la línia de 20 kV
GAS NATURAL	Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm ²)
CLAVEGUERAM	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3.5m, amb un diàmetre del col·lector de 800 mm
AIGUA D'INCENDIS	Xarxa a peu de parcel·la a una pressió màxima de 4 kg/cm ²
AIGUA DE XARXA	Escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm ² amb un diàmetre de 200 mm

En base a la legislació municipal vigent, s'han tingut en compte per al disseny del projecte les corresponents normatives urbanística i sectorial. A la Taula 1.3.2. es mostren els paràmetres fixats per aquestes normatives.

Taula 1.3.2. Paràmetres establerts d'acord a la normativa urbanística i sectorial vigent.

Edificabilitat	1,5 m ² sostre/m ² terra
Ocupació màxima de la parcel·la	75%
Ocupació mínima de la 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	1/3 del edifici més alt amb un mínim de 5 m

1.3.2. Comunicacions i accessibilitat de la planta

Tarragona és una de les ciutats més ben comunicades de tota la Península Ibèrica. Ser capital de província i albergar diferents edificis institucionals, rebre cada any uns dos milions de turistes segons fonts de l'Observatori del Parc Científic i Tecnològic de Turisme i Oci de Catalunya (Tarragona va ser declarada Patrimoni de la Humanitat l'any 2000), albergar un gran complex industrial químic i petroquímic que proporciona 10.000 llocs de treballs directes i 30.000 indirectes; ser la segona àrea econòmica de Catalunya... són alguns dels motius de pes per els quals els diferents governs, en tots els seus nivells, han decidit apostar per Tarragona invertint, entre d'altres, en aconseguir les millors comunicacions possibles. Així doncs, el fet d'instal·lar la planta a Tarragona, permetrà que la planta disposi d'una gran varietat de comunicacions terrestres, ferroviàries, aèries i marítimes.

-Xarxa terrestre

Entrecreuada amb una extensa xarxa de carreteres, les vies nacionals i comarcals més importants són la N-340 (uneix Barcelona amb Cádiz) o la N-240 (uneix Tarragona amb Bilbao). Entre totes les vies cal destacar l'AP7. Més coneguda com l'Autopista de la Mediterrània (uneix La Jonquera amb Algeciras), permet connexió directa amb Barcelona (a 100Km) i València (a 250Km) a més de la frontera amb França i per tant amb tota Europa (250Km). A tan sols 30Km de Tarragona es troba l'inici de l'AP-2, l'Autopista del Nord-Est (uneix El Vendrell amb Alfajarín). Aquesta autopista permet la connexió per carretera fins a Saragossa (230Km): la porta al Nord i al Centre de la Península, incloent Madrid (540Km).

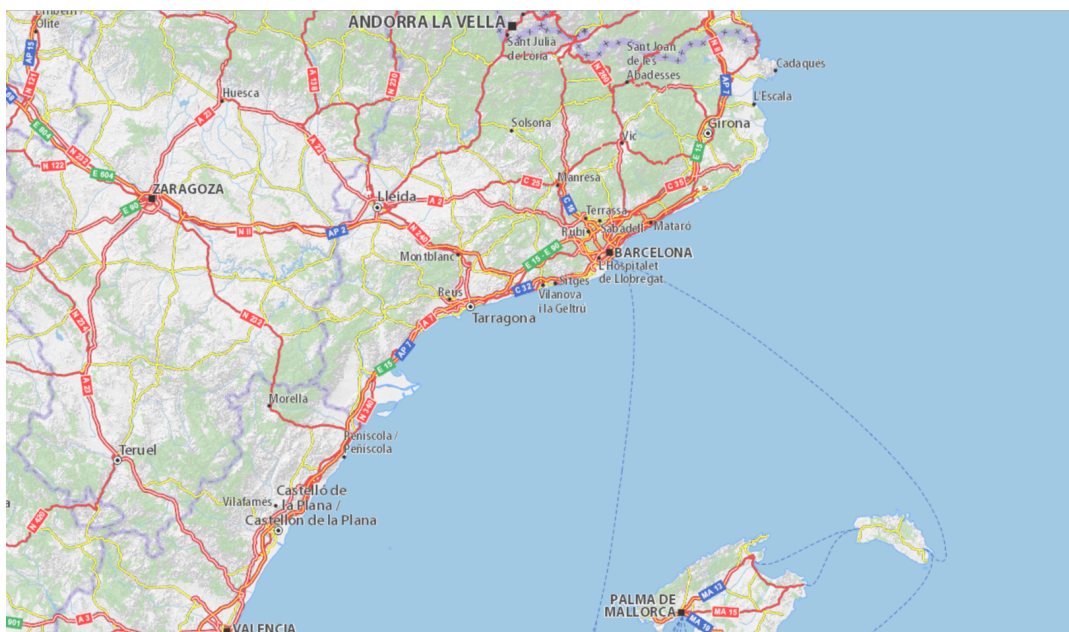


Figura 1.3.3. Plànol de les principals carreteres que afecten Tarragona.

-Xarxa ferroviària

Al propi terme municipal de Tarragona es troba l'estació de tren "Tarragona", que ofereix diverses línies de rodalies i llargues distàncies a Barcelona, Sevilla o Madrid. A més, a tan sols 11Km del centre urbà de Tarragona, l'estació "Camp de Tarragona" proporciona, a més dels serveis de l'estació municipal, l'alta velocitat. Girona, Barcelona, Vigo, Madrid o Bilbao són algunes de les ciutats connectades directament per trens d'alta velocitat amb Tarragona.

També cal mencionar el Corredor del Mediterrani(Veure Figura1.3.4). La Unió Europea preveu enllestir abans del 2030 la unió ferroviària d' Algeciras amb Záhony (Ucraïna), obtenint d'aquesta manera una línia d'alta velocitat que creui gairebé tota Europa. El corredor del Mediterrani permetrà reduir a la meitat els temps dels trajectes, augmentar la freqüència i connectar l'alta velocitat espanyola amb la europea



Figura 1.3.4. Línia ferroviària del Corredor del Mediterrani.

-Xarxa aèria

A 12Km de Tarragona es troba l'Aeroport de Reus, un aeroport petit amb tan sols 4 pistes. En quant a l'àmbit comercial, és millor desplaçar-se fins a l'Aeroport de Barcelona, El Prat, amb bona connexió ferroviària i a 100Km per autopista. Aquest aeroport obre les connexions a la resta del món amb vols intercontinentals.

-Xarxa marítima

Finalment, en quant a comunicacions de Tarragona cal destacar la insígnia de la ciutat: el port.



Figura 1.3.5. Fotografia aèria del Port de Tarragona.

Històricament aquest port ha permès el creixement de la ciutat, ja des dels temps de Tàrraco. Avui en dia es tracta d'un dels ports més importants de tota la Mediterrània. Compta amb 97 punts d'atrancament i més de 3 milions de m² d'extensió terrestre, així com serveis logístics de remolcadors, grues i contenidors. Disposa d'un pantalà destinat a que els vaixells grans, especialment els petroliers que no poden entrar als ports, puguin carregar i descarregar.

1.3.3. Característiques de la zona

Tarragona es caracteritza per tenir un clima mediterrani litoral. Caracteritzat per ser un clima suau durant tot l'any, on destaquen estius força calorosos i precipitacions escasses. Anualment, a Tarragona es registren unes 2.700 hores de sol i una humitat relativa voltant al 69%.

-Temperatura

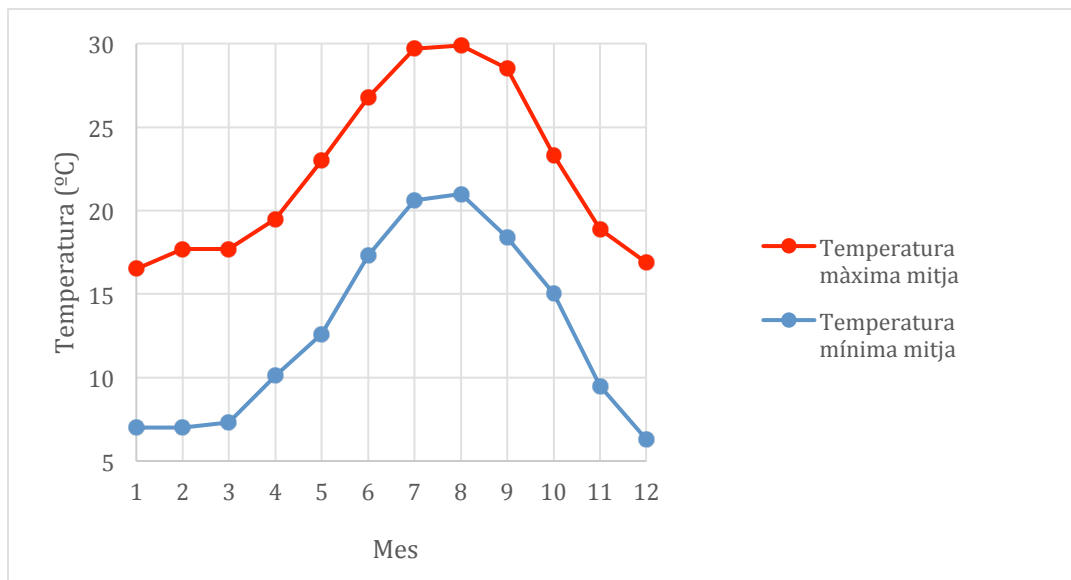


Figura 1.3.6. Representació gràfica mensual de les temperatures màximes i mínimes mitjanes de l'any 2016. (Font: Idescat. Departament de Territori i Sostenibilitat)

Tarragona té una temperatura mitjana anual que volta els 17°C. Com mostra la Figura 1.3.6. l'estiu és l'estació meteorològica més calorosa, on es registren temperatures força altes que arriben a superar durant el dia els 30°C amb facilitat. Els hiverns, en canvi, són més suaus. Tot i que predominen temperatures baixes, no s'arriba

l'extremitat dels estius. Les glaçades, tot i que es concentren en els mesos d'hivern, són poc freqüents. Durant tot l'any no es produeixen salts tèrmics bruscos, mantenint sempre una diferència al voltant dels 9°C entre la màxima i la mínima registrada.

-Precipitacions

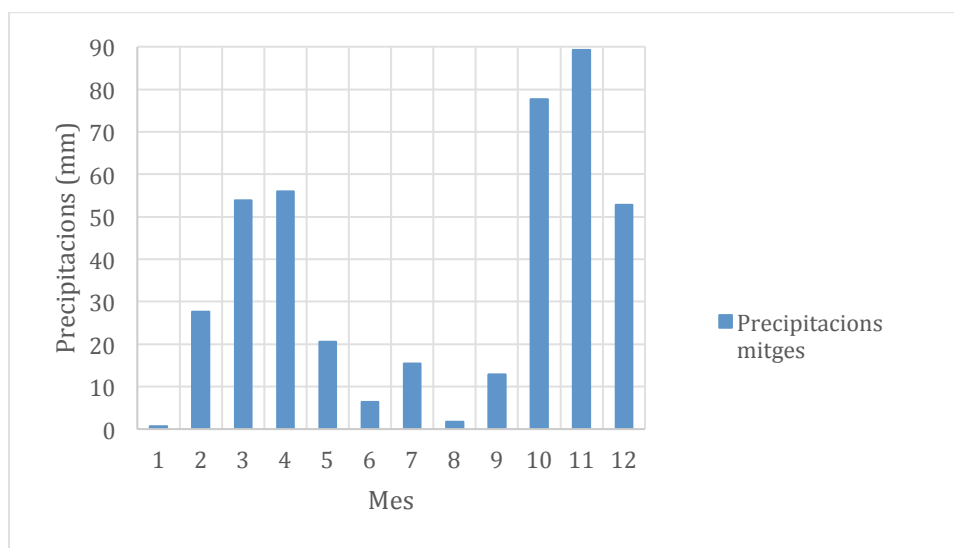


Figura 1.3.7. Representació gràfica mensual de les temperatures màximes i mínimes mitjanes de l'any 2016. (Font: Idescat. Departament de Territori i Sostenibilitat)

A la Figura 1.3.7 s'observa que les precipitacions es concentren a la primavera i sobretot a la tardor. No obstant, si es miren en l'àmbit anual són molt escasses. L'any 2016 la precipitació anual va ser de 425,1 mm.

-Activitat sísmica

Catalunya, i en conseqüència Tarragona, està considerada una zona d'activitat sísmica moderada: poca freqüència de terratrèmols amb intensitat moderada. A Catalunya es produeixen al llarg de l'any més de 100 terratrèmols que no superen la magnitud 4 en l'escala de Richter. La majoria es concentren als Pirineus, tot i que al litoral també se'n produeixen.

En concret, Tarragona es considera un municipi amb una activitat sísmica d'intensitat igual o superior a IV en l'escala MSK (Intensitat màxima epicentral) amb un període de retorn de 500 anys. S'estima doncs, que si s'arriba a produir el terratrèmol màxim del període de 500 anys, es superaran els danys que afecten als edificis.

1.4. Processos de producció

L'anhídrid ftàlic va ser descobert l'any 1863 pel químic francès Auguste Laurent (1807-1853) a partir de l'oxidació en fase líquida de naftalè amb àcid cròmic. Degut al seu us en la fabricació de colorants tèxtils, l'anhídrid ftàlic va experimentar un augment de la demanda a finals del segle XIX. Això va comportar la recerca d'obtenció del producte de la manera més econòmica possible. Els primers mètodes utilitzaven l'àcid nítric o l'àcid sulfúric com a agents oxidants. L'any 1916, els químics Harry Gibbs i Courtney Conover, van desenvolupar l'oxidació del naftalè en fase gasosa amb l'aire com agent oxidant i amb l'utilització del pentòxid de vanadi com a catalitzador. Més endavant es va descobrir que era beneficiós, per motius de preu i de rendiment, substituir el naftalè per o-xilè.

No va ser fins l'any 1945 que es va desenvolupar el primer procés de producció d'anhídrid ftàlic a escala industrial. La companyia californiana Oronite Chemical Co., utilitzant per primera vegada un reactor de llit fix, va aconseguir una planta química amb una capacitat de producció d'entre 3.500 i 4.000 tones anuals.

Des del 1945, nombroses empreses s'han implicat en la recerca de processos per la producció d'anhídrid ftàlic partint d'o-xilè. BASF, Lonza, Rhône-Poulenc, Von Heyden, Mizushima Petrochemical son algunes de les grans companyies que han desenvolupat el seu propi procés.

1.4.1. Procés BASF

El 17 de novembre de 1967 la companyia alemanya BASF Aktiengesellschaft presenta la patent anomenada "*Procés per a la preparació d'anhídrid ftàlic*", presentant així una de les primeres propostes de d'obtenció d'anhídrid ftàlic a escala industrial.

El procés que van presentar partia d'un reactor multi-tubular de llit fix on s'introduïa aire i o-xilè en fase gas i que es mantenia a temperatura constant (380^aC) amb un circuit de sal per tot el reactor. El catalitzador que utilitzaven era una mescla d'òxid de vanadi i òxid de titani sobre un suport inert. El corrent gasos que sortia del reactor amb un 74% d'anhídrid ftàlic, es refredava produint vapor a baixa pressió abans d'entrar a un condensador discontinu. En aquesta unitat, es separava una bona part del residu que posteriorment es netejava amb aigua i s'incinerava. El producte, amb

un grau de puresa més elevat, s'introduïa en uns tancs agitats juntament amb una sèrie d'additius per a poder eliminar les impureses no volàtils abans d'entrar a una sèrie de dues columnes de destil·lació al buit. En la primera s'eliminava per caps anhídrid maleic, àcid acètic i àcid toluic; en la segona, s'eliminava per cues els productes pesants i es recollia per caps l'anhídrid ftàlic amb una puresa del 99,5%.

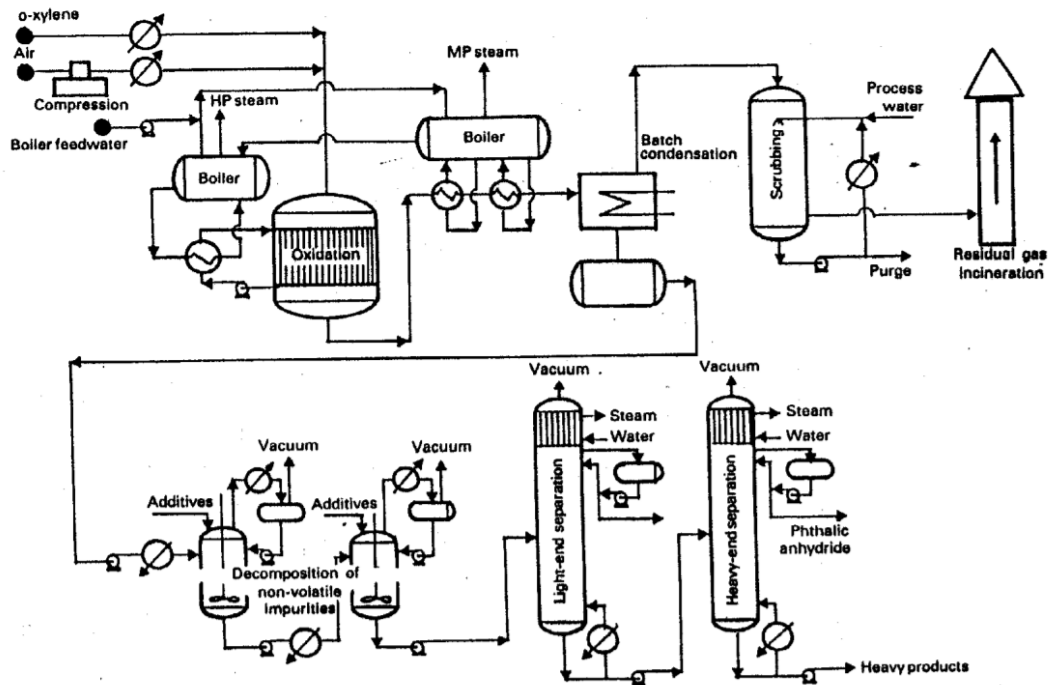


Figura 1.4.1. Diagrama de flux de BASF.

La companyia BASF ha seguit recercant millores per a aquest procés. Una mostra és la patent del 6 de juliol de 1993 en la què introdueixen dues notables millores al reactor. La primera d'elles, té a veure amb el bany de sal fosa. Després d'experiments i investigacions van obtenir millores en el rendiment, quan introduïen, no un sinó dos banys de sal al reactor dividint-lo en dues parts. En la primera zona, el bany utilitzat per refrigerar era entre 2-20 °C superior a la segona part de reacció. L'altra canvi afectava directament al catalitzador ja que utilitzaven un format principalment per la mescla d'òxids de vanadi i de titani on introduïen un 5% d'un altre compost. Per a la primera zona del nou reactor, aquest compost podia ser rubidi o cesi; en la segona era fòsfor. A més, les dues zones de reacció no tenien la mateixa quantitat de catalitzador: en la primera es distribuïa entre 30-75% i en la segona la resta.

Més patents promogudes per la BASF han estat acceptades, majoritàriament elles es proposen canvis respecte el catalitzador utilitzat. També proposen la utilització de tres àrees de bany diferenciades, fins i tot quatre.

1.4.2. Procés Rhône-Progil

El 20 de juliol de 1977 la companyia química francesa Rhône-Progil va registrar una patent (*"Méthode de préparation d'anhydride ftalique"*) per a la producció de l'anhidrid ftàlic, afegint millores a una copatent amb Pechiney-Saint Gobain abandonada ja que encara estava pendent de sol·licitud. El procés desenvolupat, Figura 1.4.2, tenia com a objectiu millorar la eficiència energètica dels processos d'aquell moment.

El seu plantejament introduïa una mescla aire:o-xilè (permetent fins a un 5% d'impureses a l'o-xilè) amb una relació en pes entre 18-24:1 en un reactor multitubular amb tubs amb un diàmetre de 19-25 mm i entre 1.2-2.2 m de llargada plens de catalitzador (amb un diàmetre mitjà equivalent de 4-8 mm). Amb aquestes condicions s'obtenia una pèrdua de pressió més baixa, implicant una menor necessitat energètica en la compressió de l'aliment. S'introduïen al reactor entre 3600-6900 g/h de mescla gasosa per litre de catalitzador.

La temperatura del reactor es mantenia isoterma entre 360-400 °C intercanviant calor amb mescla de nitrats i nitrits de sodi o potassi. Aquesta mescla circulava entre els tubs del reactor i una caldera generant vapor a alta pressió (40-100 bars).

L'efluent del reactor, a 360°C, es refredava en un intercanviador fins a 5°C per sobre de la temperatura de condensació de l'anhidrid ftàlic, recuperant d'aquesta manera energia tèrmica. A continuació es feia circular el fluid per una sèrie de condensadors mantenint 2-6°C per sobre del punt de rosada. El cru resultant s'emmagatzemava en un tanc intermedi. Els gasos efluents d'aquests condensadors s'incineraven, de manera que el corrent resultant, a més de 300°C i sense components tòxics, s'aprofitava en un intercanviador de calor abans de sortir a l'atmosfera.

A continuació s'introduïa en una primera columna de destil·lació, que operava entre 400-760 mmHg, on les impureses lleugeres es recollien per caps. Les cues passaven a una segona columna, que operava a 60-100 mmHg, on es recuperava per caps anhídrid ftàlic pràcticament pur.

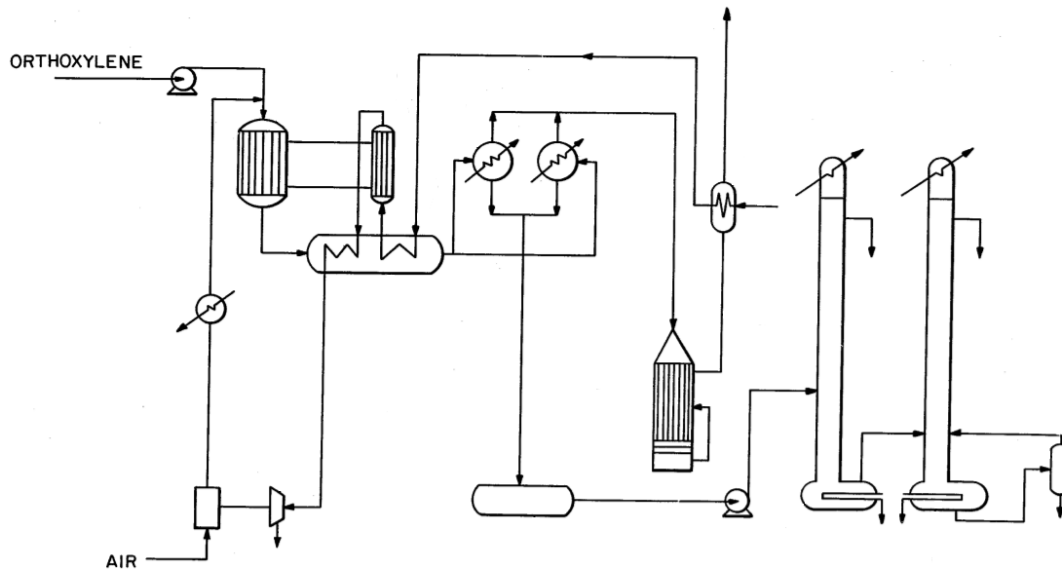


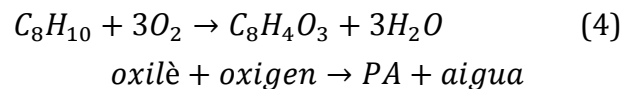
Figura 1.4.2. Diagrama de flux de Rhône-Progil.

1.5. Descripció del procés de producció

1.5.1. Introducció

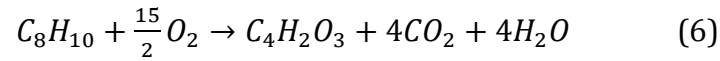
El procés d'obtenció d'anhídrid ftàlic consisteix en la reacció d'oxidació de l'orto-xilè amb oxigen per a la producció de PA.

Es produeix mitjançant la següent reacció:



Del procés de producció s'obtenen una sèrie de subproductes, com ara: CO₂ i CO, orto-tolualdehid, ftalida, anhídrid maleic i TAR.

L'anhídrid maleic, $C_2H_2(CO_2)O$ es produeix com a subproducte de l'oxidació de l'orto-xilè:



Juntament amb el TAR, CO_2 i CO , s'hauran d'avaluar les possibles emissions i els seus límits per a decidir el tractament adient.

1.5.2. Procés seleccionat

El procés de producció d'anhídrid ftàlic consisteix en la oxidació parcial de l'orto-xilè amb l'aire, en la qual es formen una sèrie de subproductes que es van eliminant a mesura que es va aprofundint en la purificació del producte.

Fent referència a la figura 1.5.3, podem diferenciar tres àrees a la línia principal de producció: reacció, condensació i purificació.

El procés de producció s'inicia a l'àrea 100 amb la captació i distribució de les matèries primeres. L'alimentació de l'orto-xilè es realitza a través de quatre tancs connectats en sèrie i s'acondiciona als paràmetres operacionals establerts gràcies a una caldera de gas natural que provoca el canvi de fase i l'assoliment de les condicions necessàries per a l'entrada del reactor (205°C i 200kPa).

La captació d'aire es realitza mitjançant tres compressors centrífugs connectats en paral·lel amb sistemes de filtració d'aire integrats. S'escull aquesta configuració en paral·lel per tal que, si algun dels compressors falla, entre els altres dos es pugui assolir la potència necessària requerida per al procés.

L'aire es fa arribar a un bescanviador de calor que li incrementarà la temperatura, degut a que es capta a condicions ambientals (20°C) i d'aquesta manera es farà arribar al reactor a 205°C, igual que l'orto-xilè. El corrent utilitzat per escalfar l'aire d'entrada és el mateix corrent de sortida del reactor. D'aquesta manera, s'aconsegueix disminuir la temperatura del fluid de procés de sortida del reactor sense necessitat d'afegir un altre equip auxiliar, com seria el cas d'un refredador.

Les dues corrents de matèries primeres entren per separat al reactor, prèviament acondicionades. Un cop al reactor, es genera l'oxidació parcial de l'orto-xilè i s'obtenen els següents productes: orto-tolualdehid, ftalida, anhídrid maleic, anhídrid ftàlic, diòxid de carboni, oxigen, nitrogen i aigua.

Dins l'àrea de reacció, en el reactor esdevé una reacció altament exotèrmica, produint un increment de temperatura exponencial. Per aquest motiu, es requereix d'un sistema de refrigeració que contraresti aquest increment, tot mantenint la conversió desitjada.

El refrigerant emprat per a aquest fi és sal i la seva intervenció esdevé quan la temperatura de la reacció assoleix els 425°C. A partir d'aquest moment, la disminueix fins els 400°C a la sortida. Aquests 425°C es consideren el *hot-spot* del reactor, doncs és la temperatura màxima que assoleix i que no es supera gràcies a la intervenció del bany de sal. Aquest refrigerant, un cop ha sortit del reactor, a 400°C, va a parar a un bescanviador de calor que el regenerarà i el retornarà a l'entrada als 380°C requerits.

El control al reactor és clau degut a que d'ell depenen la qualitat del producte i és el punt crític del procés. Gràcies al bon sistema de control integrat al reactor es garanteix que el grau de conversió sigui constant i que les condicions de seguretat són les òptimes, evitant qualsevol tipus d'accident provocats per *hot-spots*, ja que la reacció és altament exotèrmica i podria esdevenir explosiva.

A la sortida del reactor, s'ha de disminuir la temperatura del producte abans que aquest entri a l'*After-Cooler* i això s'aconsegueix reaprofitant-lo, fent-lo circular com a fluid calent pel bescanviador de calor de l'aire, de manera que aquest es refreda a la temperatura adequada per a l'entrada de l'*After-Cooler*, alhora que escalfa l'aire. El corrent de sortida del reactor és de 400°C i, un cop es produeix el bescanvi amb l'aire, és de 316,8°C a l'entrada a l'*After-Cooler*. Es produeix així la transició de l'àrea de reacció a l'àrea de condensació.

L'objectiu de l'*After-Cooler* és separar el producte més pesat (TAR i la meitat del PA) de la resta del corrent de producte ja que aquest faria perdre eficiència de l'equip següent, el *Switch Condenser*, i s'utilitzaria molta més energia.

Dins de l'*After-Cooler* es produeix una condensació parcial: el corrent gasós s'alimenta al *Switch Condenser* i els condensats passen a un tanc d'acumulació (tanc pulmó).



El *Switch Condenser* és un condensador de quatre etapes, on cadascuna d'elles funciona amb un increment de temperatura diferent per tal d'aconseguir condensacions parcials, disminuint així el consum d'energia ja que el cabal d'incondensables (de sortida del *After-Cooler* i aliment del *Switch Condenser*) és molt elevat i no es podria tractar de manera eficient amb una sola etapa sense requerir un consum energètic desmesurat.

El producte d'incondensables sortint del *Switch Condenser* es recircula fins al bescanviador de calor de l'*After-Cooler*, per a actuar com a fluid refrigerant i, posteriorment, es destina al bescanviador de calor del bany de sal, amb la mateixa finalitat.

El corrent de condensats que surt del *Switch Condenser* es mescla amb el corrent de sortida de condensats de l'*After-Cooler* dins d'un tanc de pulmó agitat, de manera que assegura un corrent de sortida homogeni i que l'entrada a l'àrea de purificació sigui sempre constant, en condicions de temperatura, pressió i composició.

Aquest corrent s'escalfa amb un *Heater in-line* que treballa a baixa potència ja que l'increment de temperatura que ha d'experimentar el fluid de procés és de tan sols 10°C, necessaris per evitar que no hi hagi cristallitzacions a la línia de procés.

L'àrea de purificació consta de tres columnes de destil·lació, dues d'elles per a la purificació del propi producte i una per a la purificació i posterior comercialització del anhídrid maleic com a subproducte. S'utilitzarà en els tres casos columnes de rebliment.

La primera columna de destil·lació, d'*stripping*, permet separar dos corrents, obtenint-se: anhídrid maleic i aigua pel destil·lat i anhídrid ftàlic amb restes de productes pesats al residu. El sistema de condensació és parcial.

La columna de rectificació, per a la separació del producte d'interès dels pesats, s'alimenta amb les cues de la primera columna i permet obtenir anhídrid ftàlic amb una puresa del 99,91%. Aquesta funciona amb condensació total.

La tercera columna, molt més petita, s'alimenta amb el corrent de destil·lat de la primera columna i s'utilitza per a la purificació del subproducte anhídrid maleic i permet obtenir-lo a una puresa per sobre del 95%. El corrent vapor residual obtingut

d'aquesta està compost pràcticament en la seva totalitat d'aigua, sense contaminants, de manera que es pot abocar lliurement a l'atmosfera.

Aquestes dues corrents de producte, anhídrid ftàlic com a producte principal i anhídrid maleic com a subproducte, es conduiran paral·lelament als respectius tancs agitats per a la seva homogeneïtzació. Seguidament, es conduiran a dos cristal·litzadors que permetran la presentació del producte en forma sòlida cristal·lina i posteriorment aniran a la línia d'envasat i etiquetatge, pel seu correcte emmagatzematge.

Les calderes de gas natural s'utilitzen per a escalfar fluids de serveis, com l'oli tèrmic i les pròpies matèries primeres, com l'orto-xilè. Aquestes tenen una potència molt elevada i produeixen una gran quantitat de CO₂ que, juntament amb el CO₂ obtingut residual del propi procés, supera els límits d'abocament atmosfèrics i haurà de ser tractat.

Aquestes tres corrents és recol·lectaran mitjançant un ventilador que les conduirà a la torre d'eliminació de CO₂. Es procedirà a eliminar el CO₂ mitjançant una torre d'absorció amb amines. Com ja s'esmenta a l'apartat de disseny, aquesta requerirà d'una segona torre de regeneració de la amina per tal que el procés sigui cíclic i viable econòmicament.

Durant l'operació de la planta, s'aniran generant purgues a diferents zones de la planta per tal de garantir el correcte funcionament de la instal·lació. Aquestes purgues es recol·lecten a una bassa d'homogeneïtzació que posteriorment s'abocaran a clavegueram.

1.5.3. Diagrama de blocs

Seguidament s'adjunta una breu explicació del procés de producció de l'anhídrid ftàlic, juntament amb el diagrama de blocs corresponent:

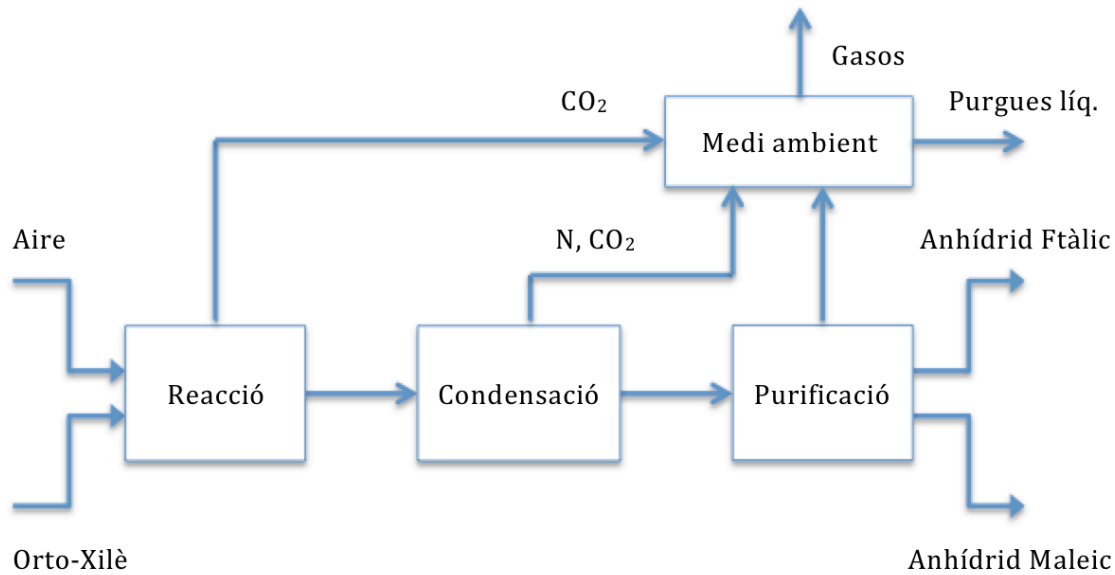


Figura 1.5.3. Diagrama de blocs de procés de producció d'anhídrid ftàlic.

La figura 1.5.3. descriu, mitjançant un diagrama de blocs, el procés de producció d'anhídrid ftàlic. El procés consta de les següents etapes principals:

- Reacció de l'orto-xilè amb l'aire. S'introdueixen les matèries primeres al reactor, prèviament acondicionades cadascuna a les seves condicions requerides (l'aire requereix d'un compressor i l'orto-xilè, d'una caldera). De la zona de reacció surten dos corrents: el corrent de producte cap a la zona de condensació provinent del reactor i un corrent de CO_2 residual provinent de la caldera que s'usa per escalfar l'orto-xilè.
- Condensació del corrent de producte provinent del reactor. Aquesta àrea consta principalment dels equips *After-Cooler* i *Switch Condenser*, amb els respectius bescanviadors de calor adients, per tal d'assolir la condensació necessària de producte. D'aquesta etapa surt un corrent residual gasós amb principalment N i CO_2 que es tractarà a medi ambient.
- Purificació de producte. S'utilitzen dues columnes de destil·lació per tal d'aconseguir la puresa requerida del producte (99% d'anhídrid ftàlic) i una tercera per a purificar també l'anhídrid maleic com a subproducte i comercialitzar-ho. D'aquesta etapa s'obindrà un corrent residual líquid que anirà a medi ambient.



- Medi ambient. Aquesta àrea rep dos tipus de corrents residuals: gasosos i líquids. Els corrents gasosos, provinents de l'etapa de reacció i condensació, es componen principalment de CO_2 , que serà tractat mitjançant una torre d'absorció amb amines. La resta de gasos, com ara el nitrogen, es poden abocar lliurement a l'atmosfera. Els corrents residuals líquids provinents de les purgues són principalment aigua i es poden abocar directament a clavegueram, prèviament recollits a una bassa d'homogeneïtzació.

1.5.4. Diagrama de procés

Seguidament es mostra el diagrama de procés per a la planta de producció d'anhídrid ftàlic.

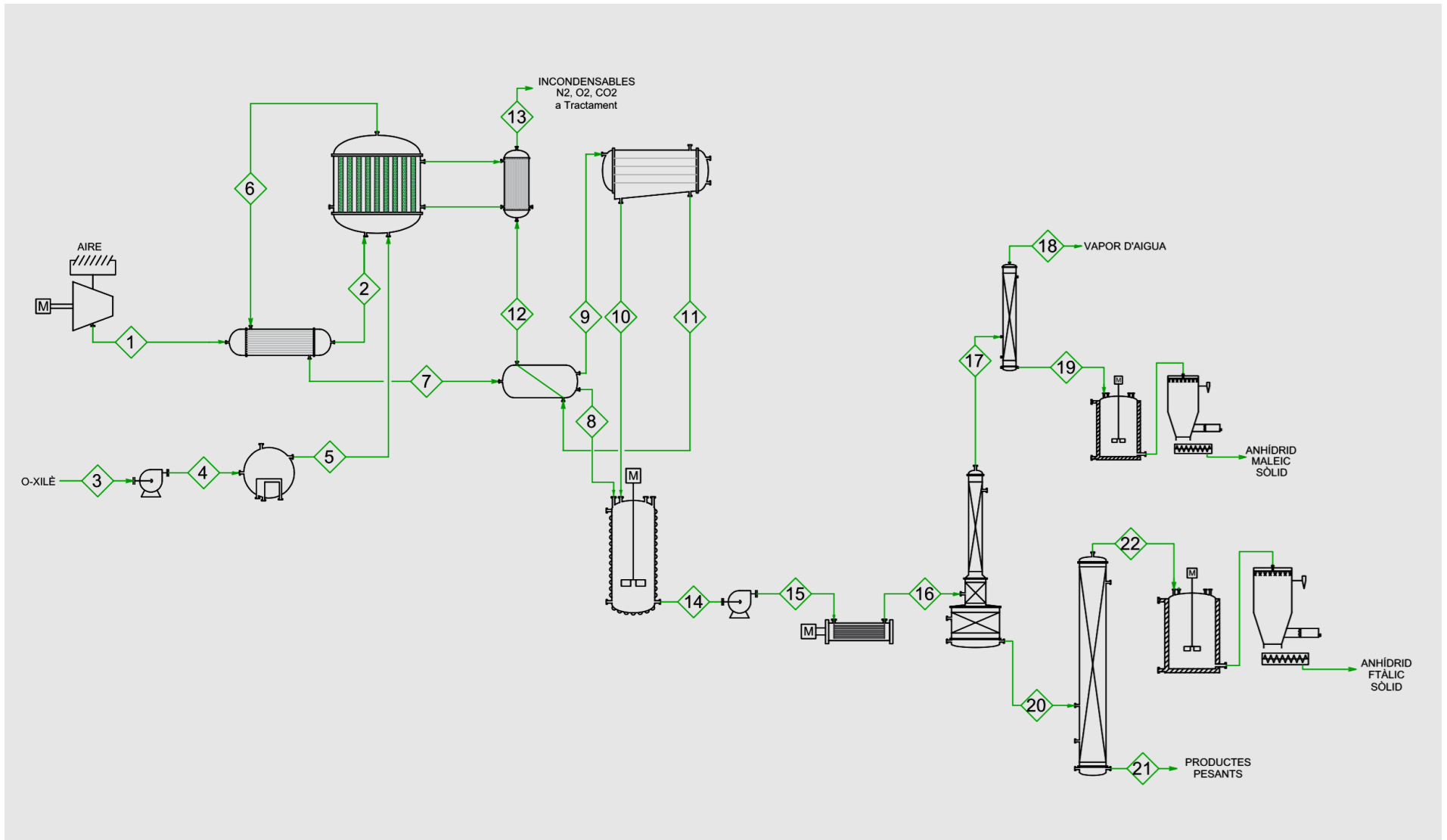


Figura 1.5.4. Diagrama de procés de la producció d'anhídrid ftàlic.

1.6. Constitució de la planta

1.6.1. Descripció de la planta

La planta de producció d'anhídrid ftàlic, situada al polígon industrial NYLON-66 a Tarragona, permet la producció de 30.000 tones anuals d'anhídrid ftàlic. Funcionarà 300 dies a l'any, amb dues parades anuals programades i s'obté un producte d'una puresa molt elevada (<99%) que es presentarà en envasos de 50kg.

La distribució de la planta s'ha fet de manera molt curosa per tal d'optimitzar l'espai, de manera que es minimitzen els costos relacionats a l'organització d'aquesta i els riscos laborals, aconseguint un elevat grau de seguretat a la planta.

1.6.2. Distribució per àrees

En el present apartat s'exhibeixen les àrees que conformen la planta d'ANPHA S.A., és a dir, s'anomenen i es detallen tot fent-ne una breu descripció. ANPHA S.A. està constituïda per un total de 9 àrees, les quals es divideixen en tres grans grups:

- 1) El grup que es relaciona directament amb el procés de producció, que involucra les àrees 200, 300 i 400.
- 2) El grup de serveis que, entre d'altres, abasteix els elements de control i alguns dels equips del procés de producció. La sala elèctrica i el magatzem es poden incloure en aquest grup.
- 3) El grup d'oficines, vestuaris i tot allò que forma part de les necessitats i/o de la presència i la organització humana.

A la taula 1.6.2.1. es troba un llistat amb el nom de cada àrea i el seu pertinent codi.

Taula 1.6.2.1. Codi i nom de les diferents àrees de la planta ANPHA S.A.

NOM DE L'ÀREA	CODI
Emmagatzematge de matèries primeres	A-100
Reacció	A-200
Condensació	A-300
Purificació	A-400
Emmagatzematge de productes finals	A-500
Serveis	A-600
Tractament d'emissions	A-700
Càrrega / descàrrega	A-800
Oficines, vestuaris, laboratoris i sala de control	A-900

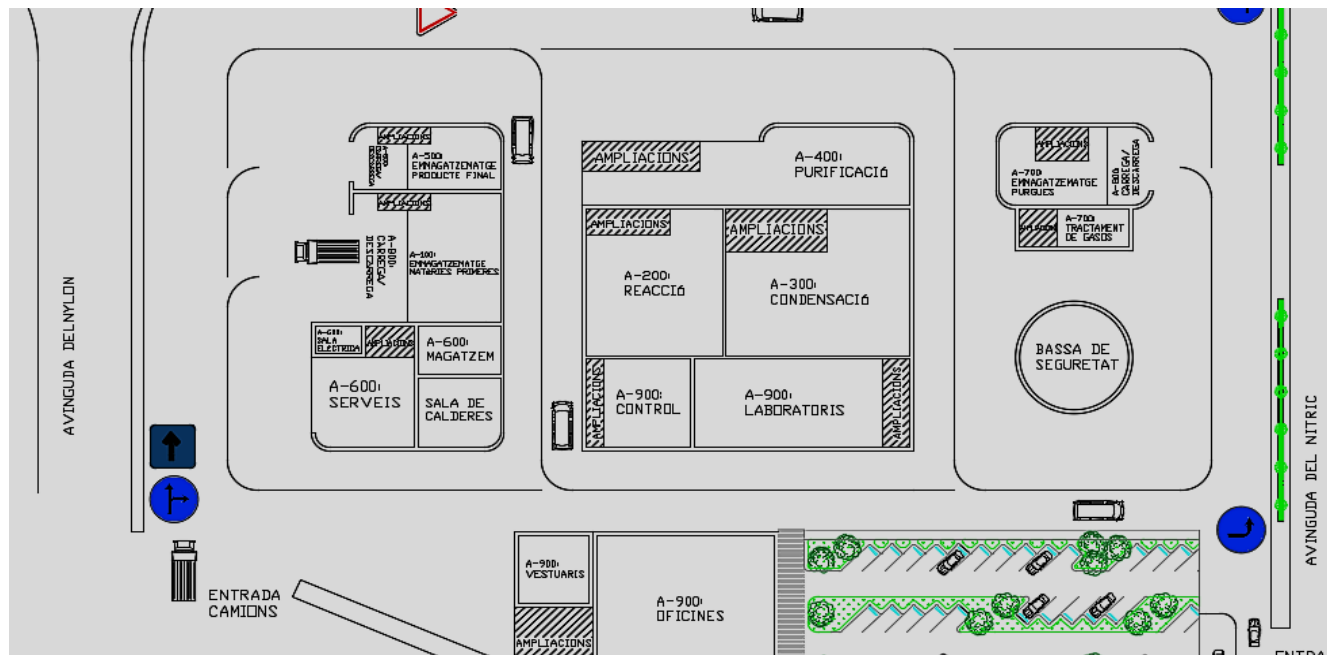


Figura 1.6.2.1. Distribució de les diferents àrees d'ANPHA S.A.

- **Àrea 100: emmagatzematge de matèries primeres**

L'àrea 100 es destina a l'emmagatzematge de les dues úniques matèries primeres que ANPHA S.A. necessita: aire i orto-xilè.

L'aire és captat directament del medi i es comprimeix mitjançant tres compressors centrífugs. Aquest aire, doncs, es capta a 20°C i 101.3 kPa, es comprimeix tot generant un augment de temperatura i pressió, respectivament, i es condiciona per a que entri al reactor de la manera desitjada.

Per altra banda, l'orto-xilè s'emmagatzema en quatre tancs iguals i sota unes mesures de seguretat extremes, que s'expliquen a l'apartat 5.- Seguretat. Aquesta matèria primera també es troba emmagatzemada a temperatura i pressió ambientals i, de la mateixa manera que l'aire, serà condicionada per tal de fer-la entrar al reactor tal i com es desitja.

- **Àrea 200: reacció**

L'àrea de reacció inclou la caldera de vapor, que s'encarrega de canviar l'estat de l'orto-xilè tot passant-lo a vapor i condicionant-lo a la temperatura i pressió adients per a l'entrada del reactor. També, exhibeix un bescanviador de calor que incrementa la temperatura de l'aire (matèria primera) i el condiciona amb la mateixa finalitat. El

fluid calefactor és el mateix fluid de procés quan surt del reactor, a una temperatura de 400°C. Com a tercer element, no hi pot faltar el mencionat reactor: equip on es du a terme la oxidació parcial de l'orto-xilè amb l'objectiu d'obtenir el producte d'interès, l'anhídrid ftàlic.

El reactor es troba refrigerat a contra-corrent per un bany de sal que, constantment, es desplaça entre aquest i un altre bescanviador de calor, també present a l'àrea 200. Aquest disminueix 20°C la temperatura de la sal i la retorna al reactor, a punt per la següent refrigeració.

Tots els fluids d'aquesta àrea es troben en estat gasós, exceptuant l'orto-xilè a l'entrada de la caldera (líquid) i el bany de sal, constantment en estat líquid.

- Àrea 300: condensació

L'àrea 300 rep el nom de "condensació" perquè dos dels principals equips s'encarreguen de condensar una part del fluid de procés quan surt del reactor. Amb aquesta condensació es procura separar els compostos més volàtils (nitrogen, diòxid de carboni, oxigen i aigua) dels més pesats, que condensaran. El producte d'interès, l'anhídrid ftàlic, forma part del darrer grup i, posteriorment, serà purificat.

Tal i com es preveu, aquesta disgregació es fa mitjançant una separació de fases. El primer equip, l'*After Cooler*, actua com un bescanviador de calor i una columna de destil·lació junts. D'entrada aparta, en forma de condensats, el producte més pesat i una meitat de l'anhídrid ftàlic del fluid de procés (gas). L'altra meitat d'anhídrid es destina, juntament amb els compostos més volàtils, al segon equip, l'*Switch Condenser*, a on la separació s'acaba de fer efectiva i es recupera l'anhídrid ftàlic, també en forma de condensats. El fluid refrigerant que intervé a l'*Switch* és oli tèrmic que, acabat el cicle, circula cap a un refredador per a refredar-se i regenerar-se. Aquest equip, així com el darrer bescanviador de calor, vetlla per la constant utilització de l'oli i, en definitiva, per la continuïtat del procés.

Encara resten dos equips més a aquesta àrea: un tanc pulmó, on es concentren els condensats dels dos equips principals, i un escalfador en línia, que condicionarà el corrent sortint del tanc pulmó per a que la següent etapa, la purificació, el dugui a terme a la temperatura i pressió adequades.

- **Àrea 400: purificació**

A l'àrea 400 es purifica el producte d'interès, l'anhidrid ftàlic, i es purifica encara un segon producte, l'anhidrid maleic, partícip del mateix fluid de procés i un dels productes més pesats. El producte més pesat de tots, el derivat de quitrà, es destina a una tercera via.

L'anhidrid ftàlic es purifica mitjançant una columna de rectificació i, prèviament, l'anhidrid maleic s'haurà separat mitjançant una columna *d'stripping*, amb les traces dels compostos volàtils anteriors. Després, l'ftàlic i el maleic, purificats, s'adrecen a un tanc pulmó, cadascun per la seva respectiva línia, i es cristal·litzen, per tal d'obtenir dos productes purs i sòlids.

Així, l'àrea 400 consta d'una columna *d'stripping*, una de rectificació, una de purificació per l'anhidrid maleic (sortint de *l'stripping*), dos tancs pulmó, dos cristal·litzadors i dos unitats d'envasat.

- **Àrea 500: emmagatzematge del producte final**

Tant l'anhidrid ftàlic com l'anhidrid maleic, purs, sòlids, envasats i embalats, s'emmagatzemen a l'àrea 500, per tal d'esperar-ne la seva recollida i vendre'ls.

- **Àrea 600: serveis**

L'àrea 600 comprèn:

- Tres tancs d'oli tèrmic, que l'emmagatzemen a temperatura ambient, per abastir les necessitats del *Switch Condenser* (SC-300) en ocasions com la posada en marxa i l'arrencada després de parada.
- Dos tancs de sal sòlida, que es fondrà i es destinarà al reactor (PFR-200) per a la respectiva refrigeració.
- Un tanc (T-650) que fon la sal anterior i la condiona per a l'entrada al bany del reactor.
- Una descalcificadora que s'encarrega de canviar els ions de calci per ions de sal de l'aigua de xarxa i, així, assegurar que circula pel procés sense causar obstruccions per calcificació.
- Una torre de refrigeració que restaura l'aigua de servei i la retorna al procés a punt per a la seva re-utilització.



- Un compressor que aporta aire comprimit als cristal·litzadors de l'àrea 400 (S-400 i S-410).
- Dues preses de xarxa: una de gas natural, per a les calderes de procés (oli i orto-xilè), i una altra d'aigua, per a abastir les necessitats de refrigeració/calefacció dels equips que ho requereixin.
- Un tanc de gas natural liquat, per a inertitzar els equips en casos com la posada en marxa i l'arrencada després de parada.
- Tres calderes que escalfin aigua o la canviïn d'estat, a vapor, en funció de les necessitats.

En definitiva, l'àrea 600 es destina a la contenció de tots aquells fluids i d'aquelles substàncies que són externs a la línia principal però que es necessiten per a condicionar certs equips i/o contribuir en la fase d'arrencada de la planta.

- Àrea 700: **medi ambient**

L'àrea 700 es destina a tractar les emissions gasoses que es generen a la planta. Es tracta de corrents que, majoritàriament, estan compostes de diòxid de carboni i suposen tal quantitat que sobre-passa els límits d'emissió, per la qual cosa tractar-les suposa un requisit indispensable.

Aquestes corrents esdevenen de 3 llocs:

- Els gasos de combustió pertanyents a la caldera de l'orto-xilè.
- Els gasos de combustió pertanyents a la caldera d'oli.
- Els gasos de combustió pertanyents a les 3 calderes de servei (àrea 600).
- Els gasos incondensables que surten del *Switch Condenser* i que serveixen de fluid refrigerant, tant per l'*After Cooler* com pel bescanviador del bany de sal.

L'àrea, doncs, està composta per un ventilador i dues torres: el primer capta les mencionades corrents des de diferents punts i les adjunta en una de sola, que condueix fins a la primera torre, d'absorció. La segona torre s'usa per a la regeneració d'Amina, un compost participi en l'absorció del diòxid de carboni. Al capítol de MEDI AMBIENT s'aprofundeix en el tractament.

També, a l'àrea 700 hi ha una bassa d'homogeneïtzació a on s'acumulen les diferents purgues per tal que no es donin pics en les concentracions d'algun component, tot i

que no hi conté contaminants, i es puguin abocar al clavegueram assegurant que es compleix la normativa.

- Àrea 800: càrrega/descàrrega

En aquesta àrea és on es troben situades les boques de càrrega i descàrrega dels tancs d'emmagatzematge i de serveis. És aquí, per tant, on arriben els camions, per a descarregar les matèries primeres / fluids de servei, així com per a emportar-se els productes o residus que es generen a la planta. A més, està equipada amb balances que se situen al terra, amb l'objectiu de poder carregar i descarregar els camions.

1.7. Serveis disponibles

Tota planta química requereix d'una sèrie de serveis, que constaran d'un àrea pròpia. Gràcies a ells es podrà adequar el procés a les condicions requerides per al seu correcte funcionament.

Els serveis són imprescindibles per al funcionament de la planta i s'ha de garantir un subministrament continu i fiable, motiu pel qual representen la major part de la despesa energètica i econòmica d'una empresa.

La planta de producció d'anhídrid ftàlic necessitarà dels següents serveis:

- Energia elèctrica
- Gas natural
- Nitrogen
- Aire comprimit
- Clavegueram
- Aigua d'incendis
- Aigua de xarxa
- Aigua descalcificada
- Terreny

D'aquesta sèrie de serveis, n'hi ha que es donaran en continu: electricitat, gas natural, fluids refrigerants, aigua de xarxa, etc., i d'altres en discontinu.

La majoria de serveis es donaran en continu però també n'hi ha alguns que funcionaran només en discontinu, com ara el nitrogen per a la inertització dels tancs a la posada en marxa (ja que després el nitrogen que s'emprarà com a refrigerant

s'anirà recirculant) o una de les calderes de gas natural per a l'escalfament de la sal, que només es farà servir a la posada en marxa.

1.7.1. Energia elèctrica

L'electricitat és imprescindible per al funcionament de la planta ja que és necessària per a alimentar tots els equips elèctrics. Es requerirà doncs d'un subministrament extern de l'energia elèctrica.

Es disposarà d'una connexió de línia elèctrica estàndard, de 20.000V. Per tant, caldrà també un transformador per convertir-lo al voltatge de treball, que sol ser de 380V per a la majoria dels equips.

En operació, els serveis consumeixen 7956 kWh, desglossat entre els següents equips:

Taula 1.7.1. Consum elèctric a la planta en Kwh.

Equip	KWh	Equip	KWh	Equip	KWh	Equip	KWh
K-100	1153	P-301	0,19	P-430	0,00094	T-400	0,14
K-110	1153	P-401	0,18	P-432	0,48	T-410	345
K-120	1153	P-403	0,18	P-600	11,98	V-700	110
K-600	1153	P-411	0,18	P-601	10,38	CH-300	2803
P-100	0,52	P-413	0,18	P-603	1,75	SW-400	11
P-101	0,81	P-421	0,00076	H-300	18	SW-410	11
P-201	0,135	P-423	0,00076	T-300	19,04	TOTAL	7956.15

En cas de fallada del subministrament elèctric, la planta ha d'assegurar que els serveis siguin funcionant, per tant, caldrà tenir un grup electrogen per seguretat. Aquest funcionarà amb gas natural i s'encendrà automàticament en cas de tall elèctric, per tal d'abastir tota la demanda elèctrica de la planta.

1.7.2. Gas natural

El gas natural serà necessari per a alimentar les diverses calderes i els grups electrògens. Requerirà d'un subministrament extern a través de la xarxa de gas natural. Es disposarà d'una connexió de gas natural a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm²) per abastir els diferents equips, com ara les calderes i el grup electrogen.

La caldera d'orto-xilè requerirà de 91 kg/h de gas natural, mentre que la caldera de l'oli de servei necessitarà 293 kg/h. Aquesta última només funcionarà per a les posades en marxa, és a dir, dos cops a l'any. La caldera d'orto-xilè funcionarà en continu al llarg de la producció.

1.7.3. Nitrogen

El nitrogen és necessari per a la inertització dels equips on hi ha risc d'explosió o d'incendi i per al sistema de control de pressió dels tancs. Requerirà d'un subministrament extern d'aquest, que serà proveït en un tanc criogènic de nitrogen.

La inertització dels equips és indispensable per a mantenir les condicions de seguretat òptimes a la planta, especialment a les zones ATEX. Requeriran de inertització els tancs d'emmagatzematge d'orto-xilè i els tancs pulmó intermedis que es trobin pressuritzats.

La inertització és un mètode segur i fiable per assegurar les condicions òptimes d'operació i seguretat a la planta. Aquesta es realitza mitjançant nitrogen líquid subministrat en tancs de 500L, amb el qual s'omplen els equips durant 5-10min, que elimina l'aire i la humitat de l'interior substituint-la per nitrogen i disminuint així el risc d'explosió i/o incendis.

El requeriment de nitrogen a la planta serà de 1.116.855 m³ anuals de nitrogen gas i l'empresa el subministra en tancs de 500L de nitrogen líquid.

1.7.4. Aire comprimit

L'aire comprimit és necessari per l'accionament dels aparells pneumàtics, com ara les vàlvules, el sistema de control, els cristal·litzadors i les calderes.

Requerirà d'electricitat per al seu funcionament i d'un compressor d'aire.

Es compta amb un compressor per a l'àrea de serveis i tres per al propi procés que, en cas de fallada del de serveis, podrien assumir els seus requeriments entre tots augmentant la potència d'aquests.

1.7.5. Aigua de xarxa

L'aigua de xarxa (sense tractament) es requerirà per a les zones d'on es requereixi aigua potable (laboratoris, oficines, jardins, etc.). També es necessitarà per a una sèrie d'equips, tot i que previ tractament d'aquesta (veure aigua descalcificada).

Requerirà d'una connexió directa a la xarxa de distribució d'aigua, que es trobarà a l'entrada de la planta mitjançant una escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm² amb un diàmetre de 200 mm. L'aigua serà transportada des de la presa de xarxa mitjançant la una sèrie de canonades fins a les diferents àrees que requereixen d'aquest servei.

1.7.6. Aigua descalcificada

L'aigua descalcificada serà necessària per al funcionament dels equips de serveis i d'extinció d'incendis, com ara les calderes de gas natural, o també per als tancs.

Requerirà d'aigua de xarxa i d'un equip descalcificador industrial. Funcionarà en discontinu ja que en principi, només s'utilitzarà a la posada en marxa de la planta per tal de descalcificar el cabal inicial d'aigua que després s'anirà recirculant gràcies a la torre de refrigeració. Per tant, només caldrà tornar-lo a utilitzar a les parades programades o quan s'hagi de reintroduir aigua.

La duresa de l'aigua, com ara la calç i el magnesi, s'ha d'eliminar per tal d'evitar que es facin malbé els equips ja que aquestes sals poden precipitar i formar incrustacions.

El principi de funcionament del descalcificador és el d'una reïna d'intercanvi iònic que, en travessar l'aigua a través d'ella, les sals dissoltes de carbonats són captades, cedint l'ió i intercanviant-lo per ió sodi, que és el que inclou la descalcificadora. L'aigua de sortida de la descalcificadora està carregada de sals de carbonat sòdic però aquestes no ocasionen problemes ja que no precipiten ni formen incrustacions, de manera que es poden retirar fàcilment mitjançant les purgues de les calderes.



El descalcificador, doncs, és un recipient carregat de reïnes de clorur sòdic. Amb l'ús continuat es pot esgotar el sodi de les reïnes, de manera que cal recarregar-les. Aquestes es poden regenerar fent circular salmorra o aigua amb clorur sòdic per les mateixes. Com que el descalcificador no es farà servir en continu, aquesta recàrrega es podrà fer en qualsevol moment.

El cabal d'aigua a tractar serà de 9,102 m³/h, per tant, s'escollirà un descalcificador d'aigua del model *Ultra-Line HA* de l'empresa Culligan®, que té capacitat per a cabals d'entre 18 i 34 m³/h. Es fabrica en acer d'alta resistència amb un recobriment d'epoxi d'ús alimentari per evitar la corrosió. L'equip es totalment automàtic gràcies a un controlador Culligan i les vàlvules de plàstic Noryl. La regeneració es pot establir en funció del temps, volum o qualitat de l'aigua segons siguin les necessitats.

1.7.7. Torre de refrigeració

S'utilitzarà una torre de refrigeració per recuperar l'aigua a la sortida dels diferents dels diferents equips de la planta i així minimitzar costos recirculant-la, ja que resultaria una despesa enorme fer servir contínuament aigua de xarxa.

Degut a que els fluids refrigerants de la planta no seran aigua (nitrogen, oli tèrmic, sal fosa, etc.) les necessitats d'aigua de refrigeració són baixes en comparació a d'altres plantes en les quals s'utilitza l'aigua com a fluid refrigerant. S'haurà de recuperar aigua d'alguns tancs i del Chiller, concretament 9.501,7 kg/h (les dades desglossades es troben a l'apartat 11.13.2. del Manual de càlcul).

N'hi ha dos tipus de torres de refrigeració:

- Torres de circuit obert: són equips de refrigeració directa, en els quals existeix un contacte directe entre l'aigua a refrigerar i l'aire que circula en contracorrent a través de la torre de rebliment. L'aigua transfereix l'energia calorífica a l'aire mitjançant evaporació fins arribar a saturar-lo
- Torres de circuit tancat: són equips de refrigeració indirecta, en els quals no existeix contacte directe entre el líquid a refrigerar que circula per un serpenti i l'aigua actua com a element refrigerant.



S'escollirà treballar amb una torre de circuit tancat ja que és la millor opció quan es vol que el cabal de fluid a refrigerar mantingui les propietats químiques i físiques constants al llarg de temps sense ser contaminat per elements externs.

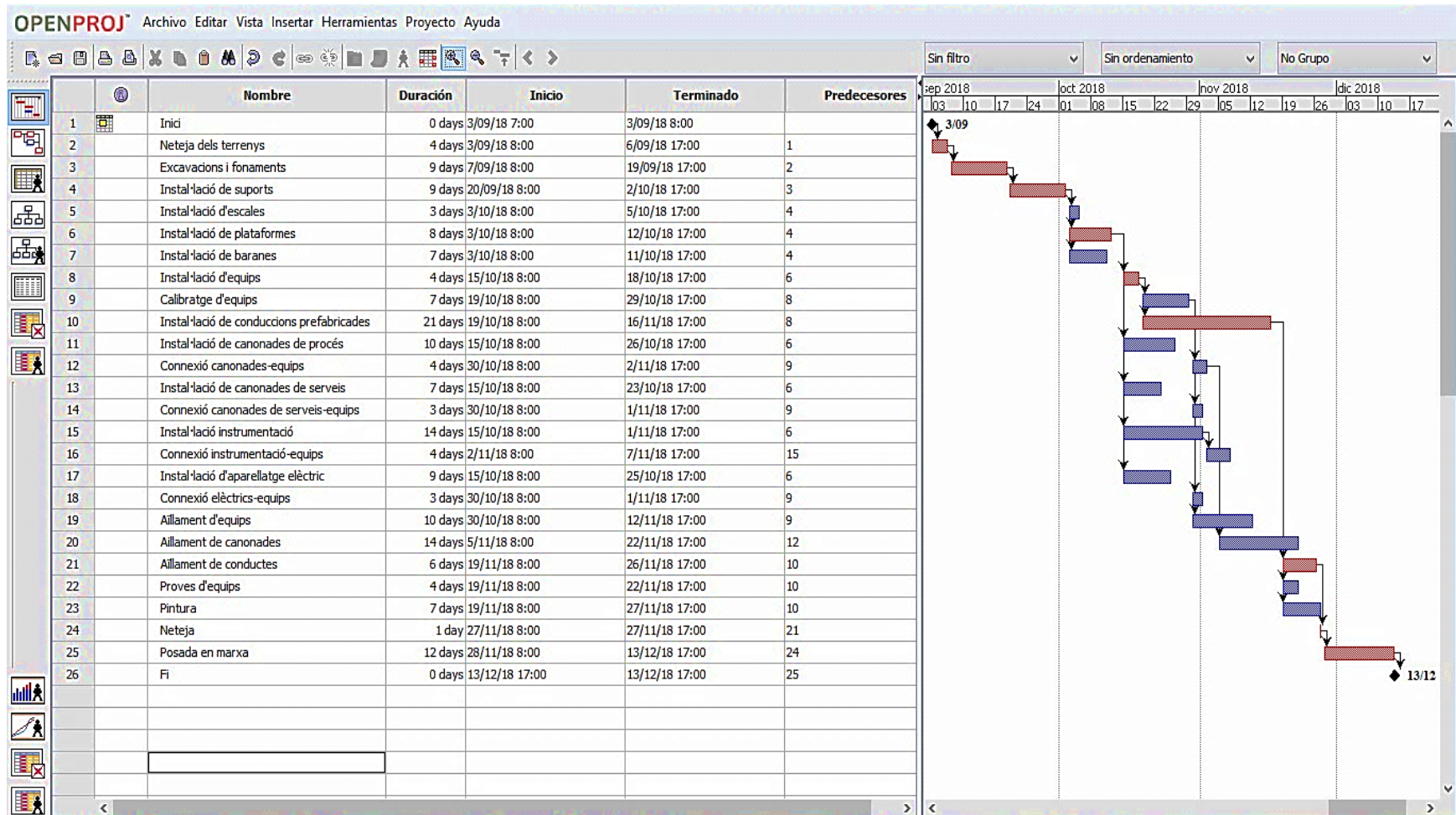
La torre de refrigeració s'escull entre els models dels catàlegs de fabricants reconeguts al sector. El proveïdor escollit és l'empresa EWK® amb una torre de refrigeració de circuit tancat del model EWK-C 441/3. Els paràmetres que han ajudat a escollir el model, juntament a les dimensions d'aquests, es troben detallats al full d'especificacions.



1.8. Programació temporal i muntatge de la planta

Coneixent les diferents especificacions de la planta es procedeix a estimar la construcció d'aquesta mitjançant un disseny de les tasques amb diagrama de Gantt.

Figura 1.8.1. Diagrama de Gantt de la construcció de la planta.





1.9. Balanç de matèria

Seguidament es mostraran les dades obtingudes del balanç de matèria, per cada corrent de la planta:

Taula 1.9.1. Balanç de matèria de procés de producció d'anhídrid ftàlic, part 1.

nº corrent	1		2		3		4		5	
Temperatura (°C)	110		205		20		20,12		205	
Pressió (kPa)	210		200		101,3		230		200	
Fracció de vapor	1		1		0		0		1	
Cabal volumètric (m ³ /h)	50080		65620		5,395		5,396		891,2	
Entalpia (kJ/kmol)	2,49·10 ³		5,30·10 ³		-2,53·10 ⁴		-2,53·10 ⁴		4,92·10 ⁴	
Cabal de calor (kJ/h)	8,21·10 ⁶		1,75·10 ⁷		-1,14·10 ⁶		-1,13·10 ⁶		2,21·10 ⁶	
Dades màssiques	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)
Ftalida										
Anhídrid ftàlic										
Anhídrid maleïc										
O-Tolualdehid										
Orto-Xilè					1	4.760	1	4.760	1	4.760
Aigua										
Diòxid de carboni										
Nitrogen	0,7671	73057	0,7671	73057						
TAR										
Oxígen	0,2329	22183	0,2329	22.183						
Cabal màssic (kg/h)	95.240		95.240		4.760		4.761		4.762	

Taula 1.9.2. Balanç de matèria de procés de producció d'anhídrid ftàlic, part 2.

nº corrent	6		7		8		9		10	
Temperatura (°C)	399,8		316,8		160		160		70	
Pressió (kPa)	130		105		70		70		65,59	
Fracció de vapor	1		1		0		1		0	
Cabal volumètric (m ³ /h)	145.100		157.500		1,957		153.300		1,484	
Entalpia (kJ/kmol)	-1,87·10 ⁴		-2,15·10 ⁴		-4,00·10 ⁵		-2,52·10 ⁴		-4,21·10 ⁵	
Cabal de calor (kJ/h)	-6,32·10 ⁷		-7,24·10 ⁷		-5,51·10 ⁶		-8,47·10 ⁷		-5,86·10 ⁶	
Dades màssiques	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)
Ftalida	0	0,0207	0	0,0207	0	0,0105	0	0,0101	0	0,0091
Anhídrid ftàlic	0,0414	4.140,1	0,0414	4.140,1	0,9661	2.001,8	0,0218	2.138,3	0,9865	1.932,6
Anhídrid maleïc	0,0005	49,09	0,0005	49,09	0	0,1352	0,0005	48,952	0,0065	12,819
O-Tolualdehid	0	1,3787	0	1,3787	0	0,0028	0	1,3759	0,0002	0,3041
Orto-Xilè										
Aigua	0,0302	3.021,9	0,0302	3.021,9	0	0,0011	0,0308	3.021,9	0,0066	12,847
Diòxid de carboni	0,0585	5.853,7	0,0585	5.853,7			0,0597	5.853,7	0,0001	0,1271
Nitrogen	0,7301	73.057	0,7301	73.057			0,7455	73.057	0,0001	0,2101
TAR	0,0007	70	0,0007	70	0,0338	69,996	0	0,0044	0	0,0044
Oxígen	0,1387	13.877,4	0,1387	13.877,4			0,1416	13.877,4	0	0,0529
Cabal màssic (kg/h)	1.000.070		1.000.070		2.070		97.998,6		1.959	

Taula 1.9.3. Balanç de matèria de procés de producció d'anhídrid ftàlic, part 3.

nº corrent	11		12		13		14		15	
Temperatura (°C)	70		237		246,9		118,3		118,3	
Pressió (kPa)	65,59		65,59		27,80		65,59		100	
Fracció de vapor	1		1		1		0		0	
Cabal volumètric (m ³ /h)	145.400		216.200		260.000		3,292		3,292	
Entalpia (kJ/kmol)	-2,66·10 ⁴		-2,15·10 ⁴		-2,12·10 ⁴		-4,11·10 ⁵		4,11·10 ⁵	
Cabal de calor (kJ/h)	-8,89·10 ⁷		-7,20·10 ⁷		-7,10·10 ⁷		-1,14·10 ⁷		1,14·10 ⁷	
Dades màssiques	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)
Ftalida	0	0,001	0	0,001	0	0,001	0	0,0196	0	0,0196
Anhídrid ftàlic	0,0021	205,69	0,0021	205,69	0,0021	205,69	0,9761	3.934,4	0,9761	3.934,4
Anhídrid maleïc	0,0004	36,13	0,0004	36,13	0,0004	36,13	0,0032	12,954	0,0032	12,954
O-Tolualdehid	0	1,072	0	1,0712	0	1,0712	0,0001	0,3069	0,0001	0,3069
Orto-Xilè										
Aigua	0,0313	3.009,0	0,0313	3.009,0	0,0313	3.009,0	0,0032	12,848	0,0032	12,848
Diòxid de carboni	0,0609	5.853,6	0,0609	5.853,6	0,0609	5.853,6	0	0,1271	0	0,1271
Nitrogen	0,7607	73.056,8	0,7607	73.056,8	0,7607	73.056,8	0,0001	0,2101	0,0001	0,2101
TAR							0,0174	70	0,0174	70
Oxígen	0,1445	13877,4	0,1445	13.877,4	0,1445	13.877,4	0	0,0529	0	0,0529
Cabal màssic (kg/h)	96.039,7		96.039,7		96.039,7		4.030,9		4.030,9	

Taula 1.9.4. Balanç de matèria de procés de producció d'anhídrid ftàlic, part 4.

nº corrent	16		17		18		19		20	
Temperatura (°C)	128,3		118,7		60,61		155,7		257	
Pressió (kPa)	58		30		20		20		40	
Fracció de vapor	0		1		1		0		0	
Cabal volumètric (m ³ /h)	3,319		91,5		101,2		0,008791		4,032	
Entalpia (kJ/kmol)	-4,09·10 ⁵		-2,53·10 ⁵		-2,36·10 ⁵		-4,31·10 ⁵		-3,94·10 ⁵	
Cabal de calor (kJ/h)	-1,13·10 ⁷		-2,14·10 ⁵		-1,72·10 ⁵		-4,90·10 ⁴		-1,06·10 ⁷	
Dades màssiques	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)
Ftalida	0	0,0196							0	0
Anhídrid ftàlic	0,9761	3.934,4					0,0222	0,2499	0,9821	3.934,7
Anhídrid maleïc	0,0032	12,954	0,4447	10,9659	0,0005	0,0072	0,9565	10,7844	0,0005	1,9333
O-Tolualdehid	0,0001	0,3069	0,0158	0,3896	0,0116	0,1557	0,0213	0,2402	0	0,0135
Orto-Xilè										
Aigua	0,0032	12,848	0,5231	12,8992	0,958	12,8992	0	0,0002		
Diòxid de carboni	0	0,1271	0	0	0	0				
Nitrogen	0,0001	0,2101	0,0163	0,4031	0,0299	0,4033				
TAR	0,0174	70							0,0174	69,736
Oxígen	0	0,0529	0	0	0	0				
Cabal màssic (kg/h)	4.030,9		24,658		13,465		11,275		4.006,3	

Taula 1.9.5. Balanç de matèria de procés de producció d'anhídrid ftàlic, part 5.

nº corrent	21		22	
Temperatura (°C)	300,1		219,8	
Pressió (kPa)	13		13	
Fracció de vapor	0		0	
Cabal volumètric (m ³ /h)	0,08034		3,793	
Entalpia (kJ/kmol)	3,79·10 ⁵		-4,12·10 ⁵	
Cabal de calor (kJ/h)	1,01·10 ⁵		-1,10·10 ⁷	
Dades màssiques	x	Q (kg/h)	x	Q (kg/h)
Ftalida				0
Anhídrid ftàlic	0,0003	0,0188	0,9991	3.934,6
Anhídrid maleïc			0,0005	1,9333
O-Tolualdehid				0,0135
Orto-Xilè				
Aigua				
Diòxid de carboni				
Nitrogen				
TAR	0,9997	68,258	0,0004	1,478
Oxígen				
Cabal màssic (kg/h)	68,277		3.938,1	



1.10. Bibliografia

- Auroy et al. 20 Jul 1977. *Method of preparing Phtalic Anhydride*. Rhone-Progil, Paris, France.
- Aichinger et al. 9 Apr 1991. *Preparation of Phtalic Anhydride from O-Xylene*. BASF Aktiengesellschaft, Ludwigshafen, Fed. Rep. Of Germany

- ©Culligan España. “*Descalcificadores de agua Culligan*”

www.culligan.es/equipos-descalcificacion/

Data de consulta: 17-01-18.

- EWK Torres de refrigeración. “*Torres de refrigeración – EWK-C*”

<https://www.ewk.eu/index.php/producto/es/ewk-c>

Data de consulta: 15-01-18.