

CAPÍTOL 1

ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO





PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ANILINA

Projecte de Final de Grau en Enginyeria Química

ANILEX CORPORATION

Karen Canales
Àngela Castell
Marta Constantí
Júlia Gavaldà
Mireia Granados

CERDANYOLA DEL VALLÈS, GENER 2017

UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA
ESCOLA D'ENGINYERIA



CAPÍTOL 1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ANILINA

INDEX

1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE	6
1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE	6
1.1.1. BASES DEL PROJECTE.....	6
1.1.2 ABAST DEL PROJECTE	6
1.1.3 LOCALITZACIÓ DE LA PLANTA.....	6
1.1.4 ABREVIACIONS	13
1.2 MECANISMES D'OBTENCIÓ DE L'ANILINA.....	14
1.2.1 HIDROGENACIÓ CATALÍTICA DEL NITROBENZÈ.....	14
1.2.1.1 HIDROGENACIÓ EN FASE GAS	14
1.2.1.2 HIDROGENACIÓ EN FASE LÍQUIDA	16
1.2.2 REDUCCIÓ DEL NITROBENZÈ MITJANÇANT FERRO I SALS DE FERRO.....	16
1.2.3 AMINACIÓ DEL FENOL (<i>Halcon process</i>)	18
1.3 CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS DEL PROCÉS.....	19
1.3.1 PRODUCTE D'INTERÉS: ANILINA.....	19
1.3.1.1 PROPIETATS FÍSQUES I QUÍMIQUES DE L'ANILINA.....	19
1.3.2 REACTIUS DEL PROCÉS: AMONIAC I FENOL	20
1.3.2.1 AMONIAC	20
1.3.2.1.1 PROPIETATS FÍSQUES I QUÍMIQUES DE L'AMONIAC.....	22
1.3.2.2 FENOL	23
1.3.2.2.1 PROPIETATS FÍSQUES I QUÍMIQUES DEL FENOL	23
1.4 DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE PRODUCCIÓ	24
1.4.1 DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL PROCÉS	25
1.5 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA	30
1.5.1 DISTRIBUCIÓ PER ÀREES	30
1.6 PROGRAMACIÓ TEMPORAL DE LA PLANTA	35
1.7 BALANÇOS DE MATÈRIA	38
1.8 SERVEIS A PLANTA.....	44
1.8.1 L'ENERGIA ELÈCTRICA.....	44
1.8.2 GAS NATURAL.....	45
1.8.3 AIGUA DE XARXA.....	45
1.8.4 VAPOR	46
1.8.5 AIRE COMPRIMIT.....	46
1.8.6 SYLTHERM 800	48

1.8.7 BENZÈ	48
1.8.8 AIGUA DE REFRIGERACIÓ	48
1.8.9 TORRES DE REFRIGERACIÓ	48
1.8.10 NITROGEN	49
1.8.11 EQUIP DE BUIT.....	50

1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE

1.1.1. BASES DEL PROJECTE

L'objectiu de la realització d'aquest projecte és dur a terme un estudi sobre la viabilitat de la construcció d'una planta de producció d'anilina. L'anilina de la present planta es produirà a partir d'amoníac (NH_3) i fenol ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$), mitjançant una reacció catalítica.

La planta d'*Anilex Corporation*, o el que és el mateix *Anilex CO*, estarà situada a Tarragona al polígon industrial Gasos Nobles.

A *Anilex CO* es produiran anualment 60.000 tones d'anilina, en un procés en continu, funcionant 330 dies/any i realitzant una única parada anual per manteniment.

El producte definitiu es presentarà en camions a granel de 23 tones.

1.1.2 ABAST DEL PROJECTE

En el projecte s'ha inclòs:

- Disseny i especificacions de les unitats de reacció i procés de producció de l'anilina.
- Disseny i especificacions de les unitats d'emmagatzematge.
- Disseny del sistema de control necessari pel correcte funcionament de la planta.
- Especificació de les unitats de servei necessàries.
- Disseny del sistema de seguretat i higiene a la planta.
- Identificació i tractament dels focus d'impacte ambiental.
- Avaluació econòmica i estudi de viabilitat de la planta.
- Posada en marxa i operació de la planta.

1.1.3 LOCALITZACIÓ DE LA PLANTA

La planta d'*Anilex CO* estarà situada a Tarragona, en concret al polígon industrial "Gasos Nobles" pertanyent al municipi de Vila-Seca. El polígon industrial Gasos Nobles està situat a la part sud de Catalunya (Espanya) tal i com es pot veure al mapa.



Figura 1-1-1: Ubicació de Tarragona a Espanya

S'ha fet una visió més exacte de la situació de Vila-Seca a Tarragona, tal i com es mostra a la **Figura 1-1-2**.



Figura 1--2: Situació de Vila-Seca a Tarragona.

La parcel·la té una superfície de 53.235 m² amb una resistència de terreny de 2 kg/cm² a 1,5 metres de profunditat sobre graves.

El polígon Gasos Nobles disposa dels següents serveis a la parcel·la escollida:

1. Energia Elèctrica: Connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la.
2. Gas Natural: Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió.

3. Clavegueram: Xarxa unitària del centre del carrer a una profunditat de 3,5 m amb un diàmetre de col·lector de 800 mm.
4. Aigua d'Incendis: La màxima pressió es de 4 kg/cm².
5. Aigua de Xarxa: Escomesa a peu de parcel·la a 4 kg/cm² amb un diàmetre de 200 mm.

1.1.3.1 PARÀMETRES D'EDIFICACIÓ I PLA DE LA PARCEL·LA

A Vila-Seca, la normativa urbanística pel Polígon Industrial "Gasos Nobles" marca els següents paràmetres d'edificació:

TAULA 1-1-1: Paràmetres per l'edificació al Polígon Industrial Gasos Nobles.

PARÀMETRE	
EDIFICABILITAT	1,5 m ² sostre/ m ² terra
OCUPACIÓ MÀXIMA PARCEL·LA	75%
OCUPACIÓ MÍNIMA PARCEL·LA	20% de la superfície d'ocupació màxima
RETRANQUEIG	5m a vials i veïns
ALÇADA MÀXIMA	16m i 3 plantes (excepte en producció justificada per la necessitat del procés)
ALÇADA MÍNIMA	4m 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

La parcel·la on estarà situada *Anilex CO* es mostra al següent plànol:

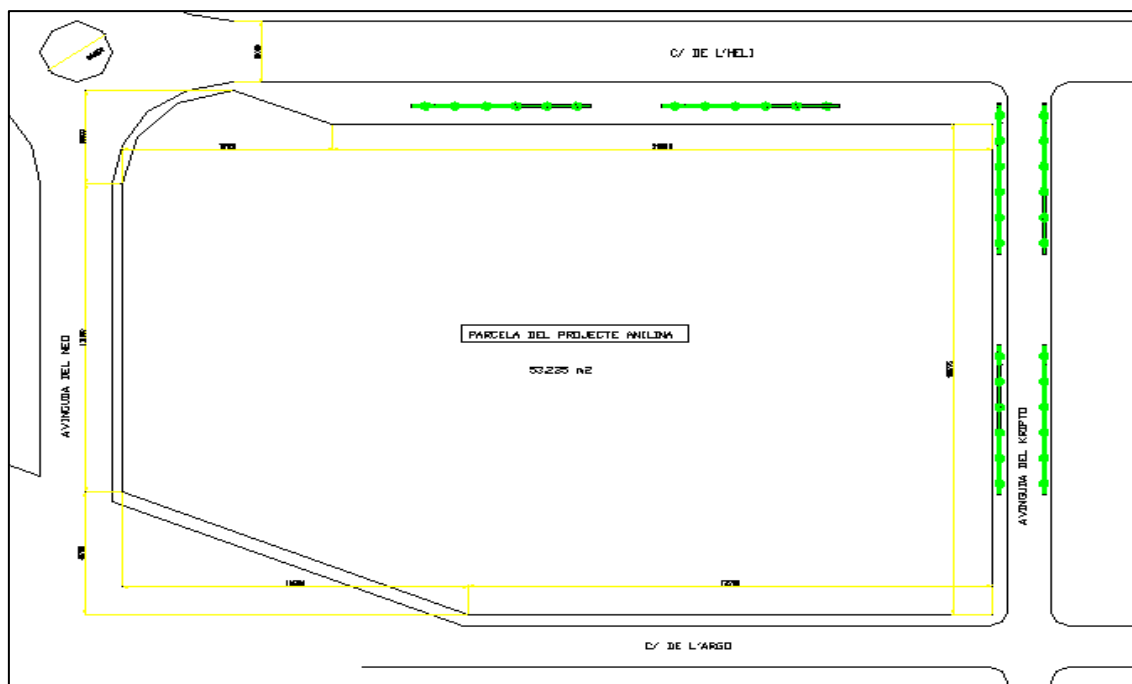


Figura 1-1-3: Plànol de la parcel·la on es situarà Anilex CO.

1.1.3.2 AVALUACIÓ DE LES COMUNICACIONS I ACCESIBILITAT DE LA PLANTA

El polígon industrial Gasos Nobles, a Tarragona, està situat en un punt de fàcil accés per via marítima. Pertany a un Clúster Químic molt important, on hi ha situades altres empreses tals com Repsol o Basf, dos de les grans indústries d'Enginyeria Química. A més a més, té una molt bona comunicació terrestre, tant pel que fa autovies i autopistes com ferroviàries incloent el tren d'alta velocitat AVE.

La seva bona situació ha estat una de les principals raons per escollir aquest emplaçament. Per contra, les comunicacions àrees no disposen d'una bona xarxa de transport.

- **Xarxa terrestre:** Vila-Seca disposa d'una àmplia connexió de carreteres. A Vila-Seca es pot accedir per via terrestre a través de la carretera comarcal C-14, per la nacional N-340 i per l'autopista AP-7/A-7. Aquesta última pertany al tram E-15 segons la nomenclatura de la Xarxa de Carreteres Europees. A Espanya es coneix com l'Autopista del Mediterrani i arriba des de Barcelona fins Algesires.
- **Xarxa ferroviària:** Vila-Seca disposa de via ferroviària i, tot i que principalment transporta viatgers, també hi circulen trens de mercaderies. Entre Perafort i la Secuita, poblacions properes al polígon, hi ha l'estació on arriba l' AVE.

- **Xarxa marítima:** La proximitat al mar del polígon Gasos Nobles fa possible el transport, per via marítima, de mercaderies. Propers al polígon es troben el Moll Químic i el Moll d'Aragó entre d'altres. Cadascun d'ells està especialitzat en el transport de mercaderies d'un sector.



Figura 1-1-4: Moll Químic de Tarragona.

A Tarragona, al 2015, s'han transportat un total de 33.044.297T de mercaderies, i pel que respecte al transport a granel líquid, un total de 22.301.539T. Aquestes dades han estat trobades al Ministeri de Foment d'Espanya.

- **Xarxa aèria:** Pel que fa aquesta xarxa de transport, a Tarragona hi ha l'aeroport de Reus, tot i que, la quantitat de vols anuals que hi ha és mínima comparada amb l'aeroport de Barcelona. L'aeroport de Barcelona representa el segon

centre de carga aèria més important a nivell estatal. Aquest es troba a 121 km de distància de Vila-Seca.

1.1.3.3. CARACTERÍSTIQUES DEL MEDI FÍSIC DE TARRAGONA

L'emplaçament escollit per instal·lar *Anilex CO* ha estat Tarragona. Tarragona és una província de clima càlid i temperat, un clima típic Mediterrani, tipus CSA segons la classificació de Köppen. La temperatura mitjana anual supera els 16 °C, lleugerament. Les precipitacions a Tarragona no superen els 560 mm. Hi ha més pluges els mesos d'hivern que no pas als d'estiu, sent el mes més sec Juliol. Al gràfic que es presenta a continuació es representa les temperatures i precipitacions normals al llarg d'un any a Tarragona.

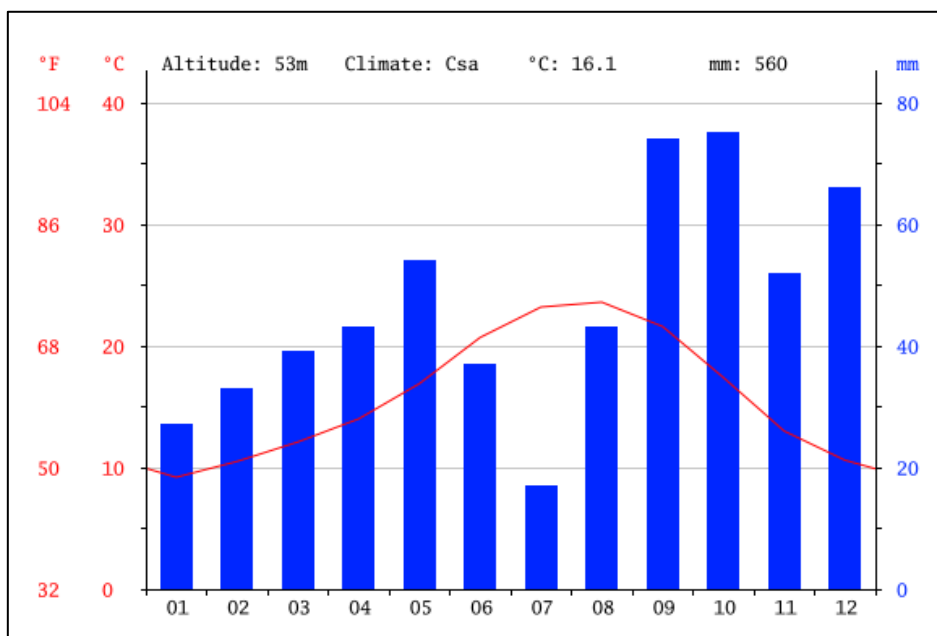


Figura 1-1-5: Dades termo-pluviomètriques realitzades pel CSA a Tarragona.

En el gràfic podem veure un registre de temperatures i precipitacions a Tarragona al llarg d'un any. El mesos amb més precipitacions són Setembre i Octubre, mentre que el mes sec, com ja s'ha dit anteriorment és Juliol. A més a més, podem veure que la temperatura màxima no és superior de 24-25°C i que la mínima baixa poc més dels 10°C.

La temperatura màxima i mínima registrada a Tarragona van ser 37,4°C el 6 de juliol de 1986 i -9°C el 11 de febrer de 1956; aquestes temperatures van ser registrades a la Base aèria de Reus.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Temp. máx. abs. (°C)	24.2	25.0	27.7	30.2	32.8	36.8	37.4	38.0	33.8	32.5	28.8	22.6	38.0
Temp. máx. media (°C)	14.1	14.9	17.1	19.0	22.2	26.3	29.3	29.4	26.3	22.3	17.5	14.6	21.1
Temp. media (°C)	9.0	9.7	11.9	13.8	17.2	21.2	24.2	24.6	21.5	17.5	12.6	9.7	16.1
Temp. mín. media (°C)	3.9	4.5	6.6	8.6	12.1	16.1	19.1	19.7	16.6	12.7	7.6	4.7	11.1
Temp. mín. abs. (°C)	-7.6	-8.0	-5.4	1.0	3.6	7.4	10.5	10.8	5.5	0.2	-4.0	-7.5	-8.0
Precipitació total (mm)	29	28	28	37	54	25	15	42	77	75	53	36	500
Días de precipitaciones (≥ 1 mm)	4	4	4	5	5	3	2	4	5	6	4	4	50
Horas de sol	157	162	197	222	251	274	306	265	209	182	157	145	2527

Figura 1-1-6: Mitjana dels principals paràmetres climàtics de Tarragona.

En definitiva, Tarragona presenta una pauta regular i previsible de temperatures. Les gelades són infreqüents, amb anys que ni tan sols les registren. Les temperatures màximes no acostumen a superar els 30°C ni en els dies més calorosos. El vent dominant es el Mestral (NO), que presenta característiques d'un vent sec i fred quan predomina el Nord o més calent a mesura que ve de l'Oest.

- **Geografia de Vila-Seca**

Vila-Seca és un municipi de la comarca del Tarragonès. Aquest municipi és pla amb una petita inclinació cap al mar. L'alçada màxima, pel nivell del mar, és de 60 metres. Per la part de Salou, hi ha una part del relleu endinsada al mar que dona lloc al cap de Salou.

Vila-Seca està travessada per diversos barrancs i reguerots que desemboquen a la mar.

Els sòls són horitzons càlcics. Són bàsics amb un baix contingut de matèria orgànica i elevat de carbonats.

A Tarragona no són típiques les inundacions en aquesta zona. A més, la petita inclinació prop del mar fa que l'aigua torrencial baixi i dreni bé, causant mals inapreciables.

- **Activitat sísmica**

Catalunya és una comunitat amb activitat sísmica moderada. Tot i així, quan es produeixen sismes a Catalunya, el potencial de danys és elevat. Al Tarragonès, l'intensitat dels sismes està entre 3 i 5 segons l'escala MSK.

1.1.4 ABREVIACIONS

En aquest capítol es reflecteixen les abreviacions utilitzades al present projecte.

Les diferents abreviacions són agrupades en funció de les seves característiques dins la planta ANILEX CO.

En primer lloc, es presenta una taula que mostra les abreviacions utilitzades per les diferents àrees de procés que hi ha a la planta:

Taula 1-1-3: Nomenclatura de les àrees.

Abreviació	Descripció
A-100	Àrea d' emmagatzematge
A-200	Producció d'anilina
A-300	Purificació d'anilina
A-400	Oficines, sala de control i laboratori
A-500	Magatzem de producte acabat
A-600-601	Manteniment i Magatzem
A-700	Serveis
A-800	Tractament de residus
A-900	Vestuaris i menjador

Les següents taules són les nomenclatures utilitzades pels diferents equips de la planta:

Taula 1-1-4: Nomenclatura dels equips de procés.

Abreviació	Descripció
T	Tancs
R	Reactor
C	Columna
E	Intercanviadors, condensadors i evaporadors
P	Bombes
VP	Bombes de buit
K	Compressors

Taula 1-1-5: Nomenclatura dels equips de servei.

Abreviació	Descripció
CV	Caldera
TR	Torre de refrigeració
TE	Transformadors d'electròlits

Per últim, per acabar de presentar totes les abreviacions, es presenta una taula on es mostren els codis usats per els fluids de servei.

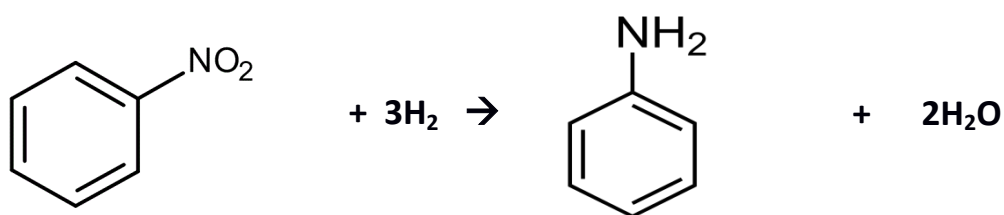
Taula 1-1-6: Nomenclatura de fluids de servei.

Abreviació	Descripció
N	Nitrogen per inertitzar
A	Aigua de xarxa
AC	Aire comprimit
CW	Aigua de refrigeració
V	Vapor
F	Fred
VC	Buit

1.2 MECANISMES D'OBTENCIÓ DE L'ANILINA

L'anilina es produeix industrialment mitjançant l'hidrogenació del nitrobenzè en presència de diversos catalitzadors metàl·lics, alternativament també es pot preparar a partir de fenol amb amoníac i per reducció amb sals de ferro.

1.2.1 HIDROGENACIÓ CATALÍTICA DEL NITROBENZÈ



La hidrogenació catalítica del nitrobenzè es un procés altament exotèrmic que es pot dur a terme tant en fase líquida com en fase vapor.

La hidrogenació consisteix en l'addició d'una molècula d'hidrogen en compostos orgànics insaturats; en aquest cas una molècula d'hidrogen trenca l'enllaç covalent entre l'oxigen i el nitrogen del grup nitril del benzè, formant anilina, mentre l'hidrogen restant i l'oxigen, per un altra banda, formen dues molècules d'aigua.

1.2.1.1 HIDROGENACIÓ EN FASE GAS

Per dur a terme aquesta reacció en fase gas es necessari la presència d'un catalitzador de coure o pal·ladi amb un suport de carbó actiu, en combinació amb altres metalls com el plom o el crom entre d'altres, ja que aquest catalitzador ajudarà aconseguir una altra activitat i selectivitat. Sense catalitzador la reacció seria tant lenta que podria no arribar a formar-se producte.

- **Reactor de llit fix (Procés Lonza)**

En el procés *Lonza* la reacció es dona en un reactor catalític de llit fix on el catalitzador és de coure, amb una temperatura de 200°C al reactor i amb un excés d'hidrogen (relació molar 1:100) .

El producte surt del reactor a una temperatura aproximada per sobre dels 300°C, on la calor de reacció és un dels punts crucials d'aquest procés, ja que la reacció és altament exotèrmica. Per tant, aquesta calor s'utilitza per produir gas i per escalfar el corrent de gas reciclat.

Finalment, el corrent de sortida del reactor es condensa, s'extreu l'excés d'hidrogen i es separa l'aigua i, per últim, es purifica l'anilina.

En altres indústries s'utilitza també un reactor de llit fix però en aquest cas la reacció és catalitzada per pal·ladi, amb un suport d'alúmina i una addició de vanadi més plom; en aquest cas es treballa amb un excés d'hidrogen superior (1:120) i a unes temperatures més elevades, entre 250-300°C. Per tant, el producte de reacció surt a una temperatura més elevada, d'un valor aproximadament de 460°C i, tot i que l'energia que es necessitarà per condensar el producte serà superior, també ho serà la producció de calor que servirà, com en el cas anterior, per produir vapor i per escalfar el corrent de gas reciclat.

- **Reactor de llit fluïditzat**

En aquest procés el nitrobenzè és parcialment evaporat per un atomitzador mitjançant l'ajuda d'un corrent calent de gas, format principalment d'hidrogen. Aquest corrent es porta directament al reactor de llit fluïditzat amb la presència d'un catalitzador, que està compost per un 15% en pes de coure amb un suport de sílice que conté crom, zenc i bari. La reacció es dona entre 200-300°C i a una pressió de entre 400-1000kPa amb un excés d'hidrogen; el producte resultant es condensa i es separa l'anilina mitjançant un separador.

1.2.1.2 HIDROGENACIÓ EN FASE LÍQUIDA

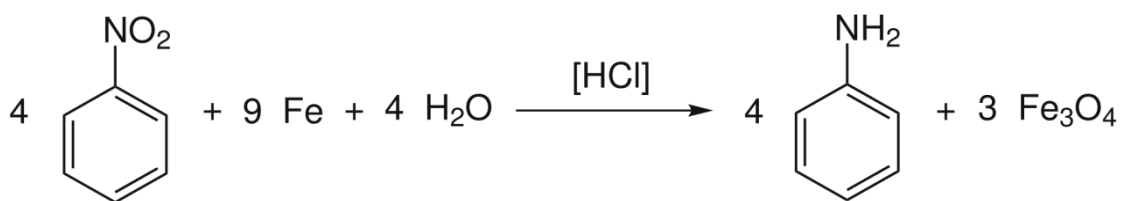
Per dur a terme la hidrogenació en fase líquida és necessària la presència d'un catalitzador, que en aquest cas està compost per pal·ladi i platí, amb un suport de carbó actiu amb presència de ferro que manté una llarga vida del catalitzador i una altra activitat d'aquest. Aquesta reacció es dona aproximadament a uns 184°C i a una pressió per sota del 100 kPa, duent-se a terme en un reactor de llit fluiditzat que conté aproximadament menys del 95% en pes d'anilina de la fase líquida. El producte de la reacció es condueix a un separador que evapora l'aigua i part de l'anilina resultant es retorna al reactor per mantenir les condicions d'estat estacionari.

Per últim, cal destacar que no hi ha diferències de rendiment ni de qualitat del producte a l'hora de treballar amb un procés en fase gas o líquida.

Cal remarcar que el procés en fase líquida té l'avantatge respecte si es treballa en fase gas que els requeriments energètics són baixos. Altrament, el procés en fase gas, tot i que requereix una elevada despesa energètica, permet que la generació de vapor es recicli dins al mateix procés.

1.2.2 REDUCCIÓ DEL NITROBENZÉ MITJANÇANT FERRO I SALS DE FERRO.

Una altra de les rutes que s'utilitzen per la producció d'anilina es la reducció del nitrobenzè mitjançant ferro o sals de ferro, amb la presència d'àcid clorhídric per la reducció, conegut com a *Béchamp process*



Aquest procés s'ha utilitzat durant més de 100 anys i actualment es continua utilitzant, però el producte d'interès no és l'anilina sinó els pigments que es produeixen per l'òxid de ferro.

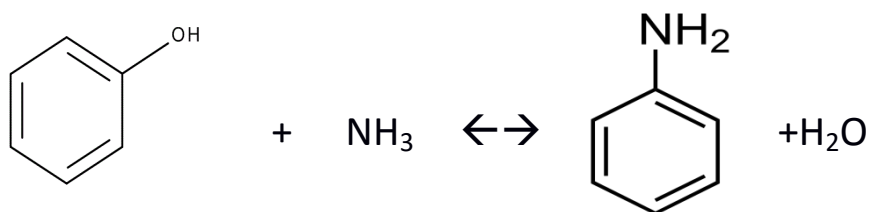
Aquesta reacció es produeix en un reactor de tanc agitat que conté una solució de clorur de ferro (II) amb un reblliment de ferro, el reactor també conté la quantitat d'aigua necessària per la reacció. Sota una intensa agitació on el contingut s'esclafa,

després que la reducció hagi començat, s'afegeix lentament part del nitrobenzè que queda i la resta de ferro per evitar un sobreescalfament i una elevada pressió. Finalment i per completar la reacció, s'escalfa fins a 100°C durant dues hores; el temps total de reacció és d'entre 8-10 hores.

La mescla de reacció es neutralitza amb calç i es transfereix a un destil·lador que separa l'aigua de l'anilina, on finalment l'anilina es separa del òxid de ferro mitjançant un separador.

1.2.3 AMINACIÓ DEL FENOL (*Halcon process*)

L'aminació del fenol és una de les altres rutes utilitzades per l'obtenció d'anilina. En aquest cas la reacció es dona en fase gas amb un catalitzador d'alúmina-sílce.



Aquesta reacció és mitjanament exotèrmica i reversible, per tant, per obtenir una alta conversió s'afegeix un excés d'amoníac (1:15-1:20), que a la vegada inhibeix la formació de subproductes no desitjats com la difenilamina, trifenilamina o el carbazol.

Els efectes de la pressió, temperatura, cabal de l'aliment i l'activitat del catalitzador han estat estudiades per tal d'obtenir uns rendiments més elevats, per exemple un augment de pressió en l'amoníac incrementa el rendiment total de la reacció però, per una altra banda, disminueix la quantitat d'anilina produïda i de fenol sense reaccionar.

En aquest procés, el fenol i l'amoníac es vaporitzen per separat (per prevenir la pèrdues de rendiment) i es combinen en un reactor catalític de llit fix que conté el catalitzador d'alúmina-sílce. La reacció es dona entre uns 200-500°C i uns 16 bars. Un cop es dona la reacció els productes són condensats i, posteriorment, enviats a una columna de destil·lació on s'extreu part de l'excés d'amoníac, que posteriorment es recircula; una de les característiques més importants del procés *Halcon* és aquesta separació, ja que un dels problemes més importants és la formació de l'azeòtrop anilina-aigua, que dificulta la seva separació. Per tant en aquest procés es dona una destil·lació a baixa pressió (menys de 0,8 atm), que assegura el trencament de l'azeòtrop i permet una posterior separació anilina-fenol molt més econòmica.

1.3 CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS DEL PROCÉS

1.3.1 PRODUCTE D'INTERÉS: ANILINA

L'anilina també anomenada fenilamina o nitrobenzè és una molècula aromàtica de la família de les amines i *és un dels cent compostos més importants en la indústria química*.

Aquest compost s'utilitza com a intermediari en diversos camps i aplicacions, com per exemple en químics agrícoles, en la indústria farmacèutica, estabilitzadors en d'indústria del cautxú i principalment com pigments.

1.3.1.1 PROPIETATS FÍSiques I QUÍMIQUES DE L'ANILINA

La seva forma molecular es $C_6H_5NH_2$, és un producte lleugerament groc que amb contacte amb l'aire i la llum es torna marró, és parcialment soluble amb l'aigua i soluble amb la majoria de solvents orgànics (etanol, acetona per exemple).

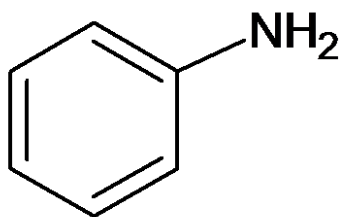


Figura1-2-1: Estructura de l'Anilina.

Taula 1-2-1: Característiques de l'anilina.

Pes molecular	93.13
Punt d'ebullició	184.4°C
Punt de solidificació	-6.2°C
Punt d'ignició	540°C
LII	1.2%
LSI	11%
Pressió de vapor (20°C)	0.05KPa
Concentració saturació (aire,20°C)	390mL/m ³

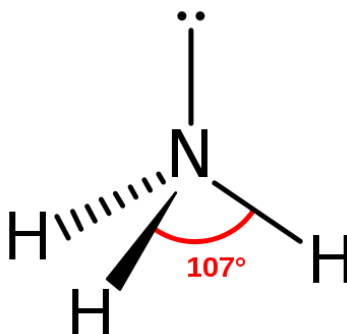
Densitat líquid (20°C)	1.022g/cm ³
Índex de refracció n_D²⁰	1.5863
Viscositat (20°C)	4.35mPa
Solubilitat amb aigua	3.6%
pH	8.8
Calor específic (25°C)	2.1Jg ⁻¹ K ⁻¹
Calor de vaporització	478.6 J/g
Calor de combustió	36.4Kj/g
Temperatura crítica	425.6°C
Pressió crítica	5.30MPa
Constant dielèctrica	6.89

1.3.2 REACTIUS DEL PROCÈS: AMONÍAC I FENOL

En aquest projecte s'ha optat per l'aminació del fenol per l'obtenció d'anilina, on els reactius emprats són el fenol i l'amoníac.

1.3.2.1 AMONÍAC

És un compost que està format per un àtom de nitrogen i tres d'hidrogen (NH₃). La molècula d'amoníac té una forma trigonal piramidal, com prediu la teoria de repulsió dels parells d'electrons de la capa de valència, amb un angle d'enllaç determinat de 107°. Aquesta configuració li aporta a la molècula un moment dipolar i, per tant, la fa polar. La facilitat de formar ponts d'hidrogen i la polaritat, fa que l'amoníac sigui altament miscible en aigua.



L'obtenció de l'amoníac es duu a terme mitjançant el procés *Haber*, procés que combina el nitrogen de l'aire amb hidrogen derivat, principalment, del gas natural (metà). És una reacció reversible i exotèrmica.



on ΔH representa la calor generada que equival a -92,4 kJ/mol.

En alguns casos, en aquesta reacció s'utilitza un excés d'un dels dos reactius. Normalment s'utilitza la proporció que ve donada per la reacció (1:3 relació molar), ja que aquest excés no reacciona i només ocupa superfície de catalitzador.

La reacció es dona a pressions molt elevades i, tot i que varia d'una indústria a l'altra, pot arribar fins a 200 bars aproximadament. S'utilitza un catalitzador de ferro pur amb un promotor d'hidròxid potàssic que fa que augmenti la eficiència.

Una característica és que el nitrogen i l'oxigen només reaccionen sobre un 15%; això fa que contínuament s'estigui reciclant nitrogen i hidrogen que no han reaccionat.

Pel que respecta a l'equilibri, la temperatura s'ha de mantenir en condicions més baixes per afavorir la reacció en vers la formació d'amoníac, és a dir, s'ha de evitar treballar prop de l'equilibri. Per tant, les condicions de treball són d'entre uns 400 a 450°C.

1.3.2.1.1 PROPIETATS FÍSiques i QUÍMIQUES DE L'AMONÍAC

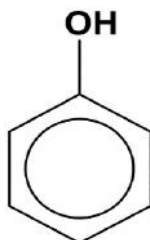
L'amoníac és un gas incolor, bastant tòxic i que es dissol fàcilment amb aigua. En forma gasosa té una densitat lleugerament inferior a la del aire i és un compost inflamable si està en contacte amb quantitats superiors al 15% d'aire.

Taula 1-3-1: Característiques del amoníac.

Estat:	Gas líquat
Color:	Incolor
Fórmula:	NH₃
Massa Molar:	17,04 g/mol
pH:	Alcalí
Punt d'ebullició:	-33,35 °C
Punt de fusió:	-77,73 °C
Temperatura de descomposició:	Per sobre dels 450°C
Temperatura d'auto ignició:	650 °C a 1 atm
Temperatura d'inflamació:	No aplicable
LII:	16%
LSI:	25%
Densitat màssica:	0,682 g/cm³ (líquid a -33,4°C)
Densitat relativa de vapor:	(a -33,5°C i 1 atm) 0,5963
Massa específica:	0,771 kg/m³ a 0 °C i 1 atm
Pressió de vapor:	(23,9 °C) 9,560 atm
Solubilitat en aigua:	Soluble però allibera vapor
Tassa d'evaporació:	Elevada
Entalpia de formació:	-46,1 kJ/mol (gasos, a 25°C)

1.3.2.2 FENOL

El fenol és un compost que es ven en forma líquida però que el seu estat natural és el d'un sòlid cristal·lí.



El procés que es duu a terme per la formació de fenol s'anomena procés Hock, que admet dues reaccions.

La primera opció és l'oxidació del cumè formant hidroperòxid de cumè, que s'escindeix en una mescla de fenol i acetona mitjançant l'addició d'àcid sulfúric (H_2SO_4). L'inconvenient d'aquest procés és la formació d'acetona, ja que pot suposar una càrrega econòmica degut al preu venda i la demanda de mercat.

Per una altra banda, hi ha un altre procés pel qual es pot obtenir fenol pur però comporta una despesa econòmica molt elevada i ja no s'utilitza, consistent en la sulfonació d'un benzè seguit d'una fusió amb hidròxid de sodi.

1.3.2.2.1 PROPIETATS FÍSiques I QUÍMIQUES DEL FENOL

És un compost que s'evapora més lentament que l'aigua, una part d'aquest pot formar una solució amb l'aigua. S'inflama fàcilment, és corrosiu i els seus gasos són explosius davant una font d'ignició.

Presenta característiques semblants als alcohols degut a la presència d'un grup hidroxil en la seva estructura. Els seus compostos són líquids o sòlids tous, generalment incolors tot i que la seva capacitat a oxidar-se fa que es presenten acolorits. També tenen un alt punt d'ebullició degut a la presència de ponts d'hidrogen reaccionant fàcilment amb bases fortes per formar sals anomenades fenòxids.

Taula 1-3-2: Característiques del fenol.

Estat:	líquid
Color:	Incolor
Fórmula:	C₆H₅OH
Massa molar:	94,11 g/mol
Punt d'ebullició:	181,7 °C
Punt de Fusió:	40,5°C
Temperatura d'auto ignició:	715 °C a 1 atm
Temperatura d' inflamació:	79°C
LII:	1,3%
LSI:	10%
Densitat màssica:	1,06g/cm³
Densitat relativa de vapor:	1,001
Massa específica:	0,771 kg/m³ a 0 °C i 1 atm
Pressió de vapor:	47 Pa
Solubilitat en agua:	Moderada
Tassa d'evaporació:	Moderadament volàtil (20°C)
Entalpia de formació:	49,95 KJ/mol (gasos, a 25°C)

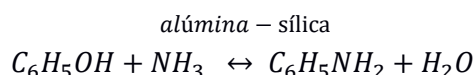
1.4 DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE PRODUCCIÓ

L'aspecte amb més importància del projecte és la tria de la via de síntesis de l'anilina.

S'han de tenir diferents aspectes en compte, tals com:

- Arribar a la producció anual que es vol arribar, en aquest cas a 60.000 T/any.
- Produir el màxim d'anilina i el mínim d'altres subproductes.

Tenint en compte els aspectes esmentats, la via triada per la producció d'anilina és:



La reacció escollida no és el mètode més utilitzat a la indústria per produir anilina. El mètode més utilitzat, i a la vegada el més antic, és el realitzat per William Henry Perkin a Londres el 1859.

El mètode de William Herny Perkin té lloc en dos passos: un primer pas de nitració utilitzant àcid nítric i àcid sulfúric i un segon pas d'hidrogenació del nitrobenzè obtingut a l'anterior etapa.

Per contra, el procés triat té únicament una etapa. La reacció per la producció d'anilina és una reacció catalítica en fase gas amb un catalitzador sòlid. Generalment, la reacció té lloc a elevades temperatures i pressions. Si més no, en el cas d'*Anilex CO* la reacció té lloc a 385 °C i 16 atm.

El problema d'aquest procés és la curta vida del catalitzador. El catalitzador va perdent activitat a mesura que s'utilitza. Per tant, el catalitzador s'haurà de regenerar per no perdre la conversió aconseguida de la reacció.

Tot seguit es fa un resum a la taula següent:

Taula 1-4-1: Dades rellevants de la reacció escollida.

Reactius	Amoníac i Fenol
Productes	Anilina i Aigua
Catalitzador	Alúmina-Sílice
Conversió	98%
Temperatura	658 K
Pressió	16 atm

1.4.1 DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL PROCÉS

El diagrama de flux amb totes les corrents de procés i els equips principals, es presenta tot seguit:

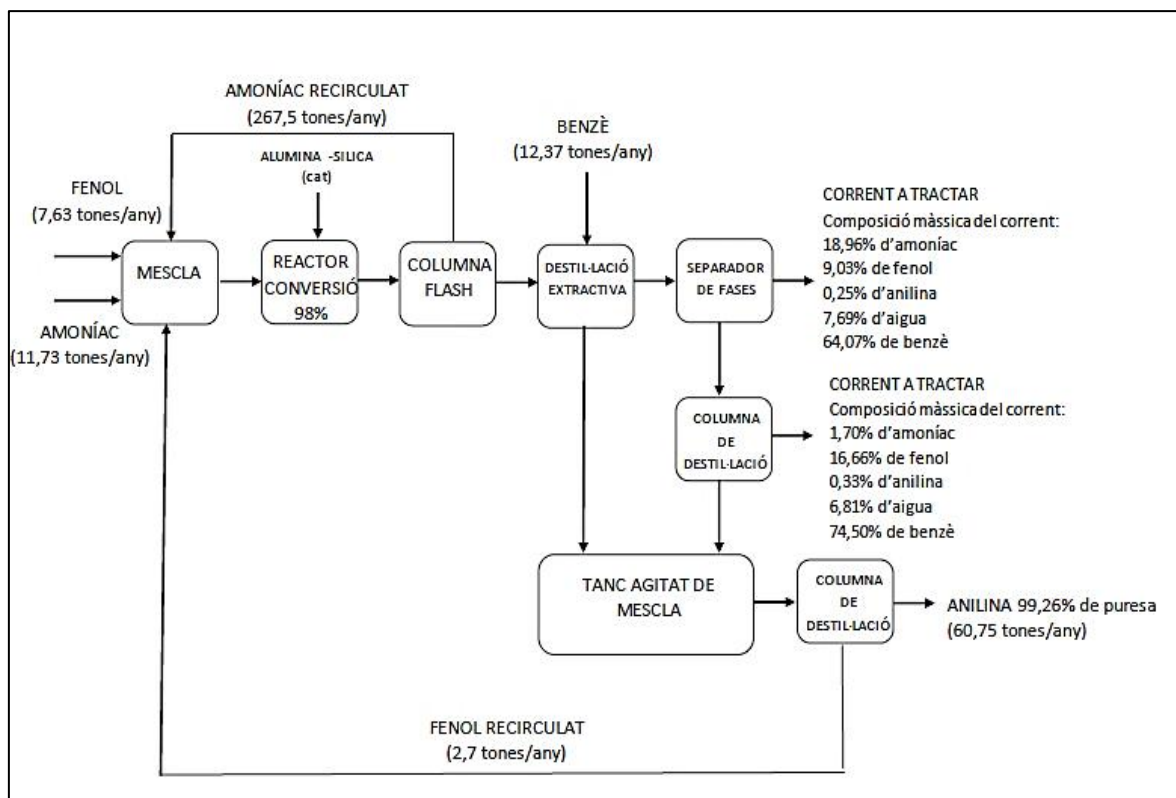


Figura 1-4-1: Procés de fabricació de l'anilina.

A la *figura 1-4-1* podem veure el procés de fabricació de l'anilina. El procés consta de vuit etapes principals. Les diferents etapes són:

- 1) Un tanc de mescla on es farà una barreja dels dos reactius, incloent els reactius no reaccionats que s'han recirculat del procés.
- 2) Un reactor catalític on tindrà lloc la reacció mitjançant l'addició del catalitzador Alumina-Sílice.
- 3) Una destil·lació flash on es recuperar l' NH_3 com reactiu no reaccionat.
- 4) Una destil·lació extractiva on es separa les mescles azeotròpiques, l'aigua i l'anilina, mitjançant la addició de benzè. Aquest compost altera les volatilitats relatives de la mescla i permet la separació de l'aigua, un dels components que formen l'azeòtrop.
- 5) Un separador de fases que separa el corrent per caps de la destil·lació extractiva mitjançant una separació per volatilitats el producte pesat i el

lleuger, fet que permet una primera separació del benzè addicionat anteriorment i altres impureses.

- 6) Una columna de destil·lació a baixa pressió (0,8 atm) per eliminar els components no desitjats que provenen del corrent pesat del separador de fases.
- 7) Un tanc agitat de mescla on barreja el corrent de cues de la destil·lació extractiva i el corrent de cues de la columna del anterior apartat.
- 8) Una última etapa de purificació on es separar l'anilina, el nostre producte principal, d'altres impureses, aconseguint un 99,26% de puresa mitjançant una columna de destil·lació a una pressió de 0,07 atm.

Les matèries primeres amoníac i fenol són emmagatzemades en tancs de -33°C i 2 bars i 45°C i 1 atm respectivament com a gas liquat. Abans de ser barrejades, cal convertir-les a gas augmentant la temperatura.

Seguidament, són barrejades al tanc mescla per afavorir l'homogeneïtat d'aquestes i són enviades al reactor, a una pressió de 1721 KPa i una temperatura de 228,1°C, mitjançant un compressor i un bescanviador de calor al corrent d'entrada del reactor, per a no arribar a la temperatura d'operació.

La barreja entra al reactor (Packed Bed Reactor) amb un llit catalític de Alúmina-Sílice on té lloc una reacció de amonòlisi. L'amoníac entra al reactor amb un excés de 20:1 respecte del fenol: per tant, el fenol és el reactiu limitant. Els productes obtinguts de la reacció són: anilina, aigua i altres impureses.

Els nous compostos formats i aquells que no han reaccionat, són enviats a una primera etapa de separació, una destil·lació flash. Aquesta etapa és important ja que permet la separació i recirculació de l'amoníac no reaccionat i la resta surt de la columna per cues, per seguir amb la purificació del producte desitjat.

La següent etapa de separació és una columna extractiva on l'objectiu principal és la separació de l'aigua i l'amoníac de la mescla, com s'ha esmentat anteriorment; això és possible mitjançant l'addició de benzè a la zona de dalt de la columna, per sobre de la etapa de mescla azeotròpica.

Posteriorment, el corrent de caps de la columna extractiva s'introdueix en un separador de fases, per fer una separació preliminar a les següents separacions i reduir els compostos que no són desitjats.

Després del separador de fases, el corrent pesat d'aquest s'introdueix a una columna de destil·lació on s'acaba d'eliminar les restes de amoníac, fenol, aigua i benzè, treballant pràcticament al buit, i els corrents que porten l'anilina amb gran puresa són barrejats en un tanc agitat.

Finalment l'etapa de purificació de l'anilina, on també es necessària una destil·lació, on es treballa a condicions de buit per l'obtenció d'anilina amb una puresa del 99,26% per caps. La resta per a cues on predomina la concentració de fenol, és recirculat a l'inici del procés per aprofitar-ho.



Figura 1-4-2: Indústria de fabricació de l'anilina.

1.5 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA

La constitució de la planta de producció d'anilina contempla tots els elements que es requereixen en la seva instal·lació. Els elements contemplats van des dels elements pròpiament industrials fins als elements auxiliars necessaris. Com elements necessaris ens referim a la zona d'oficines, de vestuaris..., a tota una sèrie de àrees a tenir en compte. Aquestes àrees han estat ja numerades a l'apartat 1.1.4 ABREVIACIONS.

La ubicació de les diferents àrees i zones s'ha dissenyat per trobar un ordre lògic de les àrees, fent possible la màxima eficiència dels equips pel que respecte costos i treball dels equips, és a dir, que hi hagi distàncies mínimes, bona comunicació de totes les àrees de la instal·lació, una zona adequada prevista per ampliacions i millores possibles cara a un futur, entre d'altres punts importants que afecten al benestar dels empleats i bon funcionament de la planta.

Els avantatges que aporta una bona distribució es veuen reflectits en una reducció de costos de fabricació, així com la reducció de riscos i accidents de treball, millora la satisfacció del treballador, incrementa la productivitat, optimitza l'espai i redueix possibles retards.

1.5.1 DISTRIBUCIÓ PER ÀREES

La planta d'*AnilexCO* està dividida en un total de nou àrees. Dues de les àrees són àrees dedicades a l'emmagatzematge de matèries primeres i del producte final. Les dues àrees que suposen un major espai del procés són les àrees de producció i purificació. Hi ha diferents àrees dedicades al manteniment de la planta, tals com serveis, manteniment i tractament de residus. Finalment, trobem àrees més dedicades al personal pròpiament, les oficines, laboratoris i sala de control, juntament, amb vestuaris i menjador.

Taula 1-5-1.: Taula d'àrees presents a la planta.

Àrees	Descripció
A-100	Àrea d'emmagatzematge
A-200	Producció d'anilina
A-300	Purificació d'anilina
A-400	Oficines, sala de control i laboratori
A-500	Magatzem de producte acabat
A-600	Manteniment
A-700	Serveis
A-800	Tractament de residus
A-900	Vestuaris i menjador

A la figura següent, veiem una projecció de la planta.

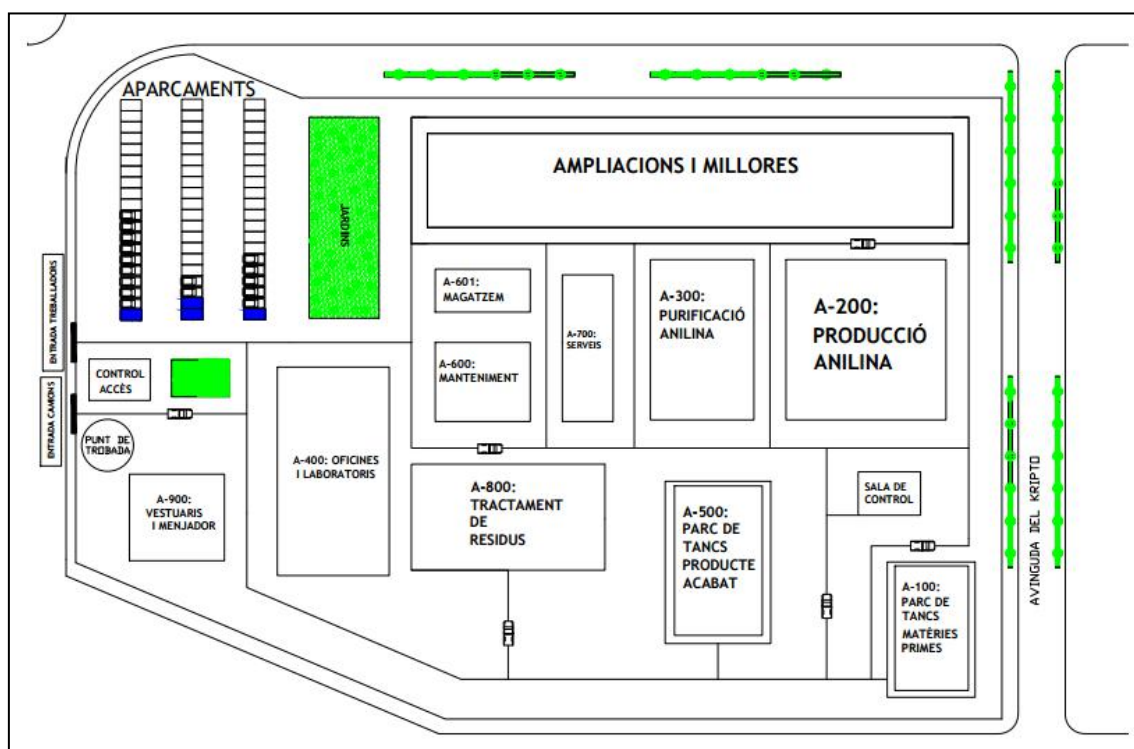


Figura 1-5-1.: Projecció de les diferents zones de les instal·lacions d'AnilexCO.

ÀREA 100 – PARC DE TANCs DE MATÈRIES PRIMERES

El parc de tancs de matèries primeres està format per quatre tancs d'emmagatzematge de fenol i un tanc d'emmagatzematge d'amoníac.

Els tancs seran reomplerts cada quatre dies. Donat que una planta veïna ens subministra el fenol la seva recàrrega no serà tan cara, ja que el transport és barat i, fins i tot, pot haver possibilitat d'instal·lar canonades que facin arribar aquest a les nostres instal·lacions (això està present davant de possibles millores o ampliacions per la planta, però s'ha d'estudiar bé, donat les condicions a les que aquest ha d'entrar al nostre procés).

Encara que l'amoníac és recircula en gran part, també s'ha establert una freqüència de recàrrega del tanc de quatre dies.

Doncs bé, l'àrea 100 no està propera a l'entrada dels camions, per un tema de seguretat, però està molt ben comunicada, per poder dur a terme totes les operacions de descàrrega de matèries.

ÀREA 200 – PRODUCCIÓ D'ANILINA

L'àrea de producció té els tres reactors disposats en paral·lel, ja que en cap moment s'utilitzaran tots tres alhora, i una sèrie d'intercanviadors i compressors. A més disposa d'un tanc pulmó per on passarà tots els productes obtinguts de la reacció.

Aquesta àrea, donada la perillositat que presenta per les altes temperatures i pressions que requereix, també es troba allunyada de les zones on hi ha la majoria de personal. Té vies de fàcil accés i està situada a prop de l'àrea 100 per reduir el màxim els costos de les canonades.

ÀREA 300 – PURIFICACIÓ D'ANILINA

A la zona de producció tenim les tres columnes, un tanc agitat, un separador de fases i una sèrie de compressors i intercanviadors.

L'àrea 300 ens aportarà l'anilina final. Està situada de tal manera que, igual que en el cas anterior, sigui la més propera a la zona precedent. L'objectiu és tenir el mínim de metres de canonades i que la planta vagi adquirint lògica en la seva disposició.

ÀREA 400 – OFICINES, SALA DE CONTROL I LABORATORI

L'àrea 400 inclou totes les zones on es realitzarà la gestió de la planta. Quan parlem de gestió ens referim des de la gestió administrativa fins la gestió de control i operacional. Aquesta àrea, al igual que la resta, està disposada en un sol pis.

ÀREA 500 – PARC DE TANCS DE PRODUCTE ACABAT

Aquesta nau està destinada a l'emmagatzematge del producte estrella de la planta, és a dir, el que ens aportarà beneficis. L'anilina serà emmagatzemada amb un 99% de puresa. Aquesta nau és propera a l'entrada de camions, per facilitar la càrrega de producte als camions cisterna que la transportaran als compradors.

ÀREA 600-601 – MANTENIMENT Y MAGATZEM

Quan parlem de manteniment parlem de taller. En aquesta àrea és on tindran lloc aquelles possibles reparacions que puguin ser necessàries, la soldadura de possibles treballs, tot un seguit de tasques que es porten a terme en un taller.

El treball dut a terme a la zona de manteniment és de vital importància per garantir la màxima eficiència i seguretat a la planta.

Al magatzem, com diu la pròpia paraula, emmagatzemem eines i altres utensilis que s'utilitzen o poden ser necessaris a la planta.

ÀREA 700 – SERVEIS

La nau de serveis té tots aquells fluids de servei necessaris per que la planta funcioni: ens referim a aigües de torre, nitrogen, entre d'altres.

ÀREA 800 – TRACTAMENT DE RESIDUS

A aquesta nau van a parar tots els residus de la planta i són tractats, tant residus humans com industrials.

ÀREA 900 – VESTUARIS I MENJADOR

La nau 900 està destinada a l'ús exclusiu del personal que treballa a la planta. Únicament està permès ingerir aliments en aquesta zona de la planta, ja que entre d'altres coses, és la que està més allunyada del procés de producció.

Els vestuaris han estat implantats per a que els operaris es canviïn de roba. L'anilina és un producte molt contaminant i, per evitar possibles accidents i procurar mantenir les millors condicions de treballs, és obligatori canviar-se tota la roba duta durant la jornada laboral per roba de recanvi.

1.6 PROGRAMACIÓ TEMPORAL DE LA PLANTA

En la construcció de la planta d'anilina es va necessitar dur a terme una sèrie de tasques per a que aquesta fos possible. A continuació, es presenta una taula de planificació temporal, on podem veure pas a pas, com s'ha constituït la planta d' *Anilex CO*.

Taula 1-6-1: Programació temporal de la constitució d' Anilex CO.

Número	Tasca	Durada (dies)	Seqüència
Gestions Administratives			
1	Enginyeria al detall	80	0:1
2	Permisos d'obres i altres activitats	120	0:2
Urbanització			
3	Neteja de terreny	10	2:3
4	Excavacions i fonaments	50	3:4
5	Cimentació	10	4:5
6	Instal·lació de plataformes	15	5:6
7	Vials i voreres	7	6:7
8	Aparcaments	3	7:8
Obra civil			
9	Construcció planta de producció i laboratori	120	7:9
10	Construcció de serveis	15	7:10
Equips			
11	Instal·lació d'equips	60	9,10:11
12	Preparació dels equips	5	11:12
Canonades			
13	Instal·lació de canonades de procés	40	9:13
14	Connexió de canonades de procés amb equips	15	12,13:14
15	Instal·lació de canonades de serveis	35	10:15
16	Connexió de canonades de serveis amb equips	10	12,15:16
Instrumentació			
17	Instal·lació d'instrumentació	25	14,16:17
18	Connexió d'instrumentació amb equips	10	17:18
Sistema elèctric			
19	Instal·lació del sistema elèctric	80	6:19
20	Connexió elèctrica amb equips	20	11,19:20
21	Connexió elèctrica amb instrumentació	7	18,19:21
Aïllaments			
22	Aïllament d'equips	15	11:22
23	Aïllament de canonades	25	14,16:23
24	Aïllament de conduccions	5	18:24
Finalització			
25	Prova d' equips	10	1-22:25
26	Pintura	35	1-24:26
27	Neteja	10	1-26:27

La durada total de la construcció de la planta és de 479 dies, per tant, un total de 6.696 hores.

El total d'hores es considera que és amb 8 hores de treball diàries. En el Gantt que es mostra a continuació, es compten festius i hores de descans.

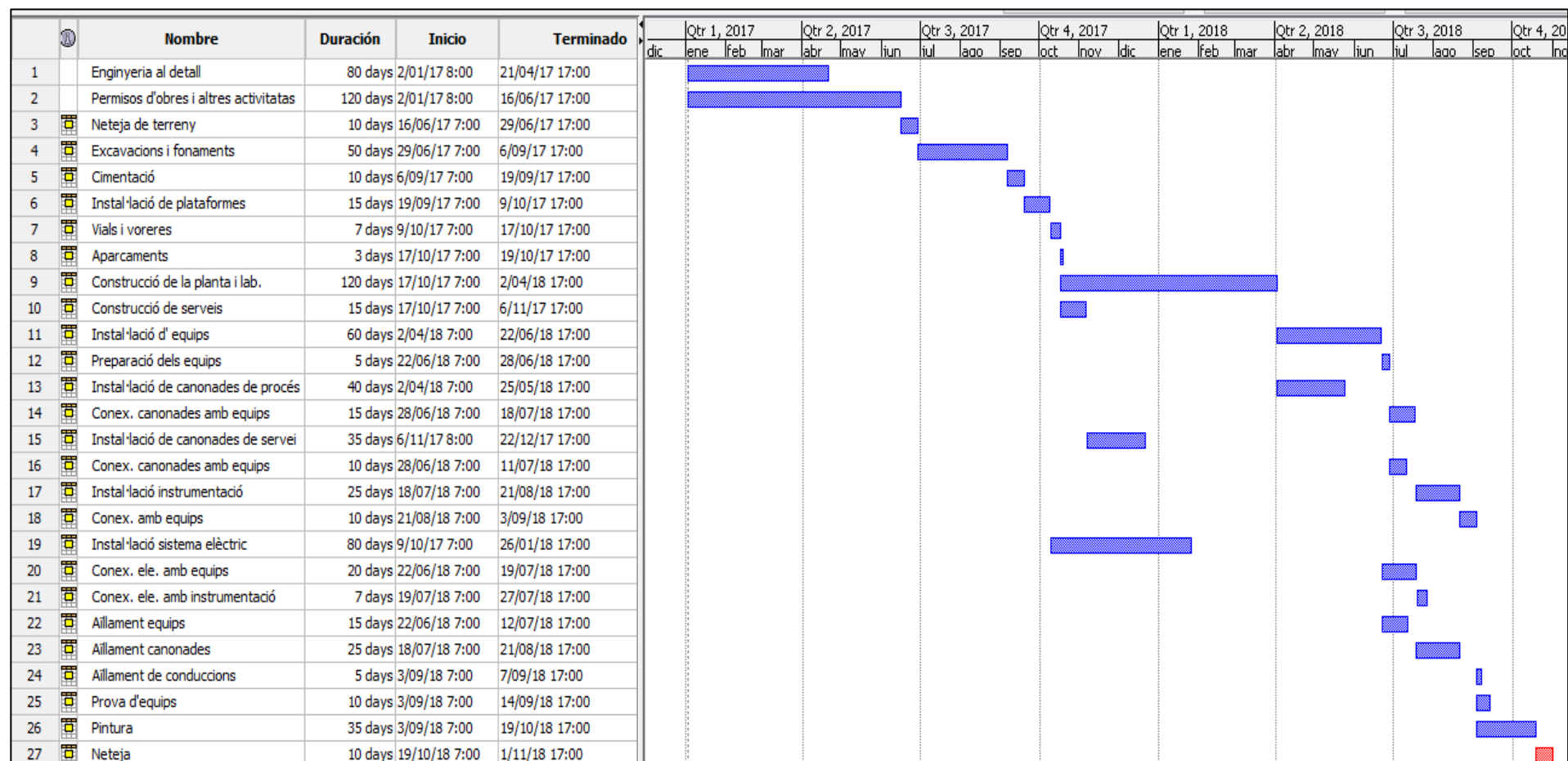


Figura1-6-1:Diagrama de Gant. Programació temporal Anilex CO.

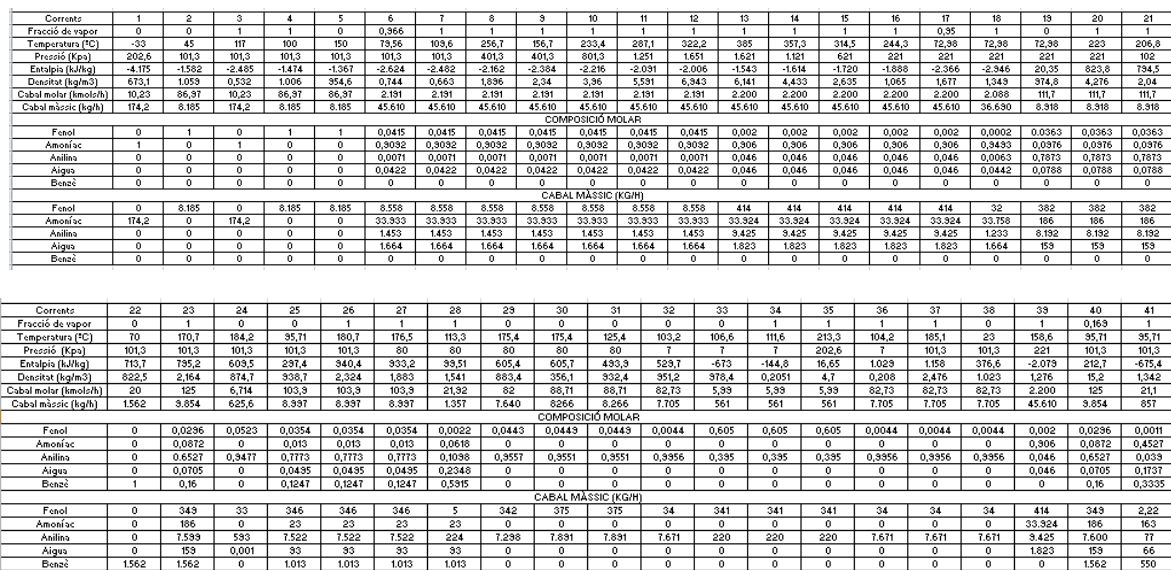
1.7 BALANÇOS DE MATÈRIA

A continuació es presenten els fluxos molars i màssics dels diferents corrents que componen el procés de producció, a més les seves característiques. Aquestes es detallen per l'estat d'operació normal de la planta, és a dir, en estat estacionari.

Tot això permet configurar el balanç de matèria del procés en general i de cada àrea o sistema, corroborant la producció necessària d'anilina.

A la figura següent es mostra el diagrama de procés de producció d'anilina.

A les taules següents es detalla la informació de cada corrent en particular i la seva numeració correspon al diagrama de procés adjuntat al apartat 1.4.1 DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL PROCÉS.



Corrents	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Fracció de vapor	0	0	1	1	0	0,966	1	1	1	1	1
Temperatura (°C)	-33	45	117	100	150	79,56	109,6	256,7	156,7	233,4	287,1
Pressió (kPa)	202,6	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	401,3	401,3	801,3	1.251
Entalpia (kJ/kg)	-4.175	-1.582	-2.485	-1.474	-1.367	-2.624	-2.482	-2.162	-2.384	-2.216	-2.091
Densitat (kg/m ³)	673,1	1.059	0,532	1.006	954,6	0,744	0,663	1,896	2,34	3,96	5,591
Cabal molar (kmols/h)	10,23	86,97	10,23	86,97	86,97	2.191	2.191	2.191	2.191	2.191	2.191
Cabal màssic (kg/h)	174,2	8.185	174,2	8.185	8.185	45.610	45.610	45.610	45.610	45.610	45.610

COMPOSICIÓ
MOLAR

Fenol	0	1	0	1	1	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415	0,0415
Amoníac	1	0	1	0	0	0,9092	0,9092	0,9092	0,9092	0,9092	0,9092
Anilina	0	0	0	0	0	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071	0,0071
Aigua	0	0	0	0	0	0,0422	0,0422	0,0422	0,0422	0,0422	0,0422
Benzè	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CABAL
MÀSSIC (Kg/h)

Fenol	0	8.185	0	8.185	8.185	8.558	8.558	8.558	8.558	8.558	8.558
Amoníac	174,2	0	174,2	0	0	33.933	33.933	33.933	33.933	33.933	33.933
Anilina	0	0	0	0	0	1.453	1.453	1.453	1.453	1.453	1.453
Aigua	0	0	0	0	0	1.664	1.664	1.664	1.664	1.664	1.664
Benzè	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Corrents	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Fracció de vapor	1	1	1	1	1	0,95	1	0	1	1
Temperatura (°C)	322,2	385	357,3	314,5	244,3	72,98	72,98	72,98	223	206,8
Pressió (KPa)	1.651	1.621	1.121	621	221	221	221	221	221	102
Entalpia (kJ/kg)	-2.006	-1.543	-1.614	-1.720	-1.888	-2.366	-2.946	20,35	823,8	794,5
Densitat (kg/m³)	6,943	6,141	4,433	2,635	1,065	1,677	1,349	974,8	4,276	2,04
Cabal molar (kmols/h)	2.191	2.200	2.200	2.200	2.200	2.200	2.088	111,7	111,7	111,7
Cabal màssic (kg/h)	45.610	45.610	45.610	45.610	45.610	45.610	36.690	8.918	8.918	8.918

COMPOSICIÓ
MOLAR

Fenol	0,0415	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0002	0.0363	0,0363	0,0363
Amoníac	0,9092	0,9060	0,9060	0,9060	0,9060	0,9060	0,9493	0,0976	0,0976	0,0976
Anilina	0,0071	0,0460	0,0460	0,0460	0,0460	0,0460	0,0063	0,7873	0,7873	0,7873
Aigua	0,0422	0,0460	0,0460	0,0460	0,0460	0,0460	0,0442	0,0788	0,0788	0,0788
Benzè	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

CABAL
MÀSSIC (Kg/h)

Fenol	8.558	414	414	414	414	414	32	382	382	382
Amoníac	33.933	33.924	33.924	33.924	33.924	33.924	33.758	186	186	186
Anilina	1.453	9.425	9.425	9.425	9.425	9.425	1.233	8.192	8.192	8.192
Aigua	1.664	1.823	1.823	1.823	1.823	1.823	1.664	159	159	159
Benzè	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Corrents	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Fracció de vapor	0	1	0	0	1	1	1	0	0
Temperatura (°C)	70	170,7	184,2	95,71	180,7	176,5	113,3	175,4	175,4
Pressió (kPa)	101,3	101,3	101,3	101,3	101,3	80	80	80	80
Entalpia (kJ/kg)	713,7	795,2	609,5	297,4	940,4	933,2	99,51	605,4	605,7
Densitat (kg/m³)	822,5	2,164	874,7	938,7	2,324	1,883	1,541	883,4	356,1
Cabal molar (kmols/h)	20	125	6,714	103,9	103,9	103,9	21,92	82	88,71
Cabal màssic (kg/h)	1.562	9.854	625,6	8.997	8.997	8.997	1.357	7.640	8266

**COMPOSICIÓ
MOLAR**

Fenol	0	0,0296	0,0523	0,0354	0,0354	0,0354	0,0022	0,0443	0,0449
Amoníac	0	0,0872	0	0,0130	0,0130	0,0130	0,0618	0	0
Anilina	0	0,6527	0,9477	0,7773	0,7773	0,7773	0,1098	0,9557	0,9551
Aigua	0	0,0705	0	0,0495	0,0495	0,0495	0,2348	0	0
Benzè	1	0,1600	0	0,1247	0,1247	0,1247	0,5915	0	0

**CABAL
MÀSSIC (Kg/h)**

Fenol	0	349	33	346	346	346	5	342	375
Amoníac	0	186	0	23	23	23	23	0	0
Anilina	0	7.599	593	7.522	7.522	7.522	224	7.298	7.891
Aigua	0	159	0,001	93	93	93	93	0	0
Benzè	1.562	1.562	0	1.013	1.013	1.013	1.013	0	0

Corrents	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Fracció de vapor	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0,169	1
Temperatura (°C)	125,4	103,2	106,6	111,6	213,3	104,2	185,1	23	158,6	95,71	95,71
Pressió (kPa)	80	7	7	7	202,6	7	101,3	101,3	221	101,3	101,3
Entalpia (kJ/kg)	493,9	529,7	-673	-144,8	16,65	1.029	1.158	376,6	-2.079	212,7	-675,4
Densitat (kg/m³)	932,4	951,2	978,4	0,2051	4,70	0,208	2,476	1.023	1,276	15,2	1,342
Cabal molar (kmols/h)	88,71	82,73	5,99	5,99	5,99	82,73	82,73	82,73	2.200	125	21,1
Cabal màssic (kg/h)	8.266	7.705	561	561	561	7.705	7.705	7.705	45.610	9.854	857

COMPOSICIÓ MOLAR

Fenol	0,0449	0,0044	0,6050	0,6050	0,6050	0,0044	0,0044	0,0044	0,002	0,0296	0,0011
Amoníac	0	0	0	0	0	0	0	0	0,906	0,0872	0,4527
Anilina	0,9551	0,9956	0,3950	0,3950	0,3950	0,9956	0,9956	0,9956	0,046	0,6527	0,039
Aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	0,046	0,0705	0,1737
Benzè	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,16	0,3335

CABAL MÀSSIC (Kg/h)

Fenol	375	34	341	341	341	34	34	34	414	349	2,22
Amoníac	0	0	0	0	0	0	0	0	33.924	186	163
Anilina	7.891	7.671	220	220	220	7.671	7.671	7.671	9.425	7.600	77
Aigua	0	0	0	0	0	0	0	0	1.823	159	66
Benzè	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.562	550

1.8 SERVEIS A PLANTA

SERVEIS PERIFÈRICS I AUXILIARS DE LA NOSTRA PLANTA

La planta requereix de serveis que no estan relacionats directament amb el procés i aquestes s'obtenen contractant subministrament extern. L'energia elèctrica, el gas natural, l'aigua de xarxa són uns dels serveis necessaris pel funcionament de la planta.

A continuació es mostren tots els serveis que necessitem:

- Energia elèctrica
- Gas natural
- Aigua de xarxa
- Vapor
- Aire comprimit

1.8.1 L'ENERGIA ELÈCTRICA

L'energia elèctrica és una de les principals fonts d'energia de la fàbrica. Ens arriba a través d'una línia de 20kW a peu de parcel·la. És necessari un transformador perquè disminueixi el voltatge a 380V/220V i reparteixi potència a tota la planta.

Cas d'emergència, si hi hagués una falla alhora d'aportació d'energia a la planta (per problemes de la empresa externa que ens proporciona l'energia elèctrica o incidents que puguin sorgir en la nostra planta), s'ha de instal·lar un grup d'electrògen i així, poder mantenir en funcionament els aparells informàtics, el sistema de control i els equips i serveis més importants de la planta.

Aquesta instal·lació proporciona energia mitjançant un combustible, que en el nostra cas serà el gas natural.

1.8.2 GAS NATURAL

El gas natural el considerem una font d'energia que alimenta a les calderes de vapor de la planta, a la instal·lació del grup d'electrògens i a l'aigua sanitària de l'edifici de les oficines.

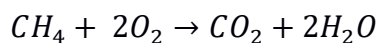
El consum de gas es calcula amb la següent equació:

$$C = \frac{Q}{n \cdot PCI_{gas}}$$

On:

- C és el consum (m^3 de gas natural/hora)
- Q és la potència nominal ($15,5 \text{ MW} = 1,33 \cdot 10^7 \text{ Kcal/h}$)
- PCI és el poder calorífic inferior (10000 Kcal/m^3 de gas natural)
- n és el rendiment tèrmic (90%)

Suposem que el gas natural és 100% metà, per tant, la reacció de combustió és:



Substituint els valors en l'equació, el consum de vapor és:

$$C = \frac{1,33 \cdot 10^7 Q}{0,90 \cdot 10000} = 1478 \frac{m^3}{h}$$

I en el cas que necessitem posar en funcionament el grup d'electrògens, necessitarem de més un consum de gas natural de $400 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

1.8.3 AIGUA DE XARXA

L'aigua de xarxa, suma de l'aigua potable i de l'aigua de consum intern de la planta, ha de arribar a la demanda requerida d'aigua potable de tota la planta.

L'aigua de xarxa arribarà als seus punts d'ús a través d'una instal·lació de canonades no aïllades, amb les vàlvules de regulació necessàries. No cal instal·lació de bombes ja que l'aigua circula amb una pressió suficient per arribar als punts necessaris.

1.8.4 VAPOR

El vapor l'utilitzem com a font de calor i el generem en calderes de vapor. És bastant econòmic ja que en comparació amb altres fluids tèrmics subministra una alta quantitat de calor per kg de vapor de servei a temperatura constant.

El vapor el generem a tres pressions diferents:

- Vapor d'alta pressió (40 bar)
- Vapor de mitja pressió (20 bar)
- Vapor de baixa pressió (3 bar)

El vapor d'alta i mitja pressió s'utilitza generalment per escalfar i el de baixa pressió per a netejar equips, canonades...i per a purgar.

1.8.5 AIRE COMPRIMIT

L'aire comprimit es utilitza per accionar tota la instrumentació de la planta com les vàlvules neumàtiques de control del procés. Per poder accionar les vàlvules sense cap problema es necessita aire comprimit a una pressió de 6 bars.

Pel servei d'aire comprimit és necessari un filtre d'aire per evitar que hi hagi partícules sòlides en l'aire, un compressor per proporcionar aire a 6 bars i una xarxa de canonades distribuïda per la planta.

S'ha escollit un compressor de la casa Worthington. El model és WIS 2000, que dona un cabal aproximat de $140\text{m}^3/\text{h}$, amb els filtres, secador i el dipòsit d'expansió corresponent.

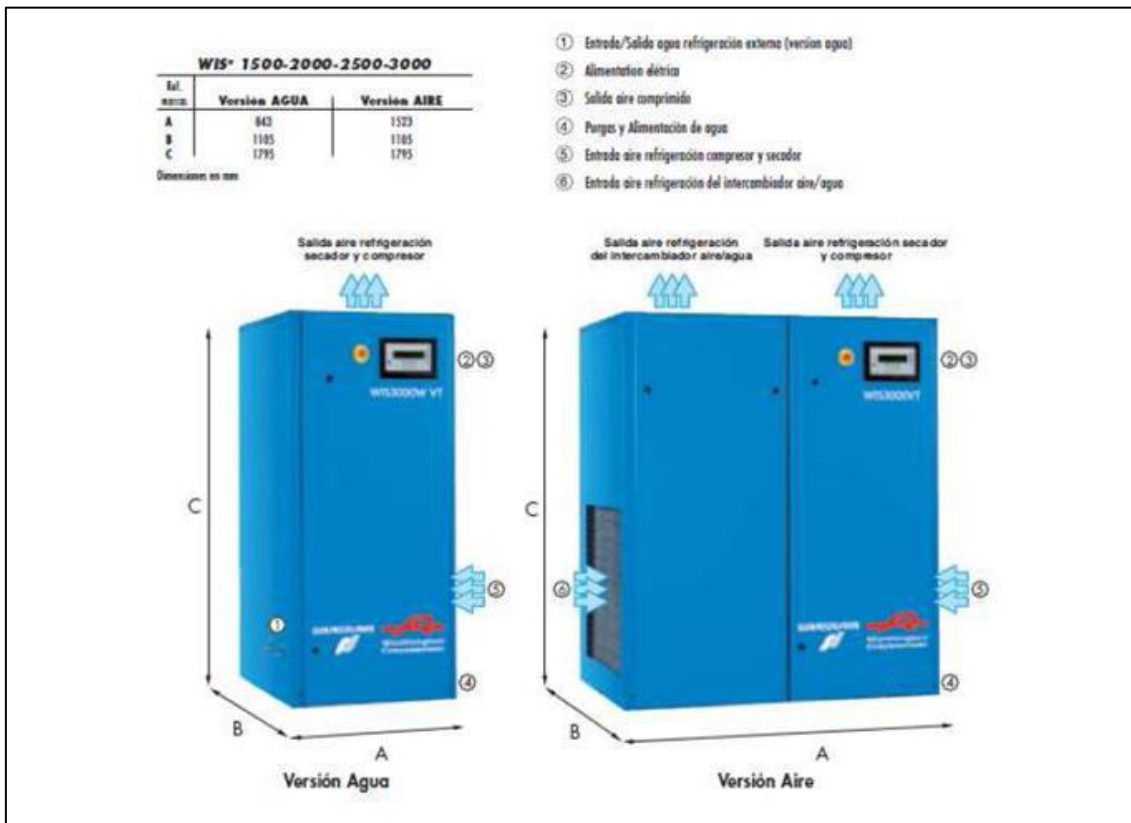
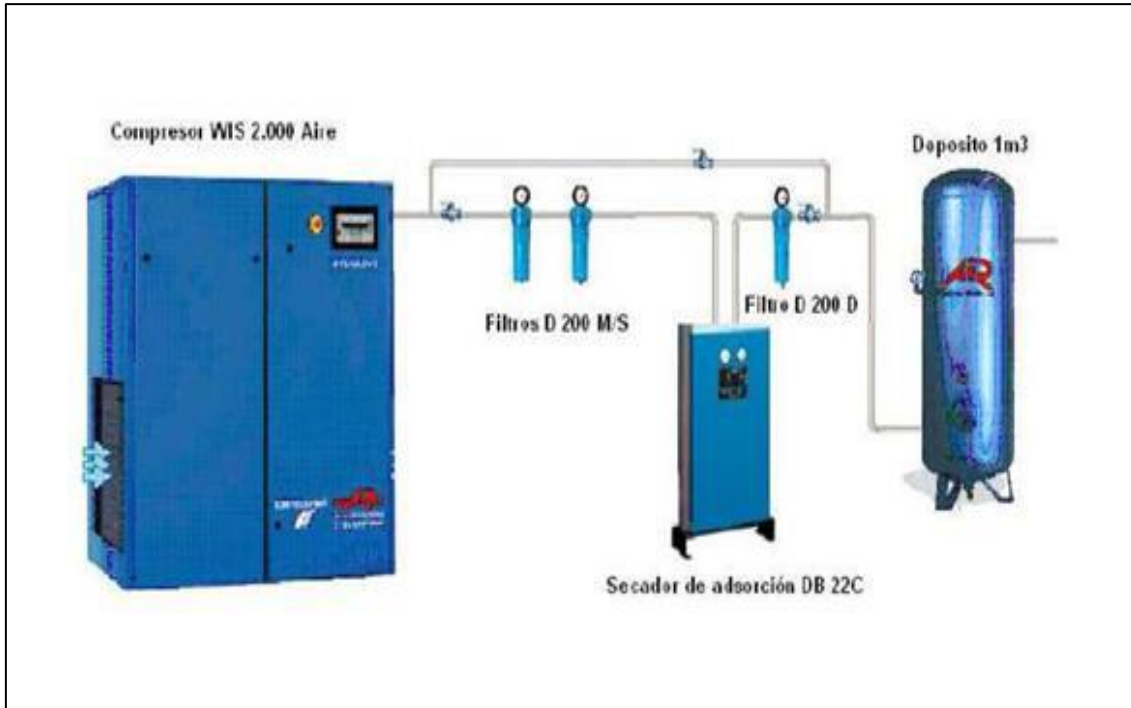


Figura 1-8-1: Compresor.

1.8.6 SYLTHERM 800

Es necessita servei d'oli tèrmic com a fluid refrigerant del reactor, el reactor opera a 385°C, es tracta d'una reacció molt exotèrmica i per tal de mantenir aquesta temperatura per afavorir la conversió. Com es treballa a temperatures tant elevades ja que treballa amb un rang de temperatures de -40°C a 400°C.

s'ha optat per syltherm 800 ja que treballa amb un rang de temperatures de -40°C a 400°C i, per tant, és capaç d'arribar a la temperatura de treball.

1.8.7 BENZÈ

Un altre servei que es necessita a la planta és el benzè. El benzè s'introdueix amb un corrent a la primera columna de separació ja que es necessita per trencar la barreja azeotròpica de l'anilina i l'aigua que es crea a les condicions d'operació de 1 bar i a 200°C. La planta consumeix 12558 tones a l'any de benzè.

1.8.8 AIGUA DE REFRIGERACIÓ

És necessita aigua de refrigeració per refredar alguns fluids de procés. Per tant, per poder abastir la necessitat d'aigua cal calcular prèviament les necessitats que tenim a la planta.

L'aigua utilitzada sortirà a una temperatura de 30°C de la torre de refrigeració i es retornarà a 40°C. És necessita un cabal d'aigua 3550 m³/h.

1.8.9 TORRES DE REFRIGERACIÓ

Amb les dades obtingudes s'ha decidit escollir sis torres de la casa EWK, en concret el model EWB- 2875/09/Q16/C12 ANTILEGIONELLA. Aquestes torres són obertes a l'exterior, amb la qual cosa tenim una pèrdues constant d'aigua que s'ha d'anar afegint.

Amb el cabal d'aigua de refrigeració necessària i la diferència de temperatura que es vol obtenir, es pot calcular el calor a dissipar i d'aquesta manera buscar el model de torre més adient. Per calcular el calor a dissipar s'utilitza l'equació següent:

$$\text{Calor a dissipar (kW)} = 4,186 \cdot Q \cdot (T2 - T1)/3600$$

On:

- Q = Cabal d'aigua en circulació (litres / hora)
- T2= Temperatura de l'aigua a l'entrada (40°C)
- T1= Temperatura de l'aigua a la sortida (30°C)

- En aquest cas hi ha un cabal d'aigua de 3550 m³/h, és a dir, 3550000 l/h i una diferència de temperatura de 10°C, amb la qual cosa s'obté un calor a dissipar de 41278,62 kW.

Com que les torres són obertes, estan exposades a pèrdues d'aigua, s'ha de calcular l'aigua necessària que s'ha d'afegir. Aquestes pèrdues són degudes principalment per l'aigua de s'evapora i per la que arrossega l'aire cap a fora de la torre.

Cabal aigua evaporada (Q_{evap}) en litres/hora:

$$Q_{evap} = \frac{\text{Calor a dissipar } (\frac{Kcal}{h})}{560} = \frac{3555096,94}{560} = 63483,85 \text{ l/h}$$

Cabal aigua arrossegada (Q_{arro}) en litres/hora:

$$Q_{arro} = \text{Cabal aigua recirculació } (\frac{l}{h}) \cdot 0,0001 = \frac{3550000}{10000} = 355 \text{ l/h}$$

Llavors el cabal que s'ha d'afegir en el circuit de refrigeració és la suma del cabal d'aigua evaporada més el cabal d'aigua arrossegada:

$$Q_{recc} = Q_{evap} + Q_{arro} = 63,83 \text{ m}^3/\text{h}$$

1.8.10 NITROGEN

El servei de nitrogen s'encarrega d'abastir amb gas inert pressuritzat a tots els sistemes de control de pressió del procés, a més de servir per la pressurització inicial dels equips.

El nitrogen també és utilitzat a la posada en marxa. Aquest desplaça l'aire dins del sistema i elimina la humitat.

Els equips han estat pressuritzats a 25 bar, per tant, el nitrogen ha d'estar emmagatzemat a 26 bar aproximadament, així es garanteix la pressió de servei.

Taula 1-8-1: Especificacions del equip triat per a Nitrogen.

Equip	Tanc criogènic per nitrogen
Model	Lin 300

Pressió d'operació	36 bar
Capacitat	27 m ³
Pèrdua per vaporització	0,3%/d
Capacitat de descàrrega	280 m ³ /h
Diàmetre/Alçada	2.400/11.550 mm
Pes	17.090 Kg

1.8.11 EQUIP DE BUIT

Aquest servei ajuda a fer el buit a les columnes de rectificació del procés que treballen a una pressió al buit. La columna T-302 treballa a 0,8 bars i la columna T-303 a 0,07 bars.

Per aconseguir aquesta pressió de buit s'ha instal·lat un equip per a cada columna, ja que cada una treballa a una pressió diferent de buit. Per realitzar el buit s'utilitza dues bombes rotatives d'anell líquid (Sihi LPH-40106). La bomba d'anell líquid es basa en un anell d'un fluid, generalment aigua, que gira a mode rotor dintre d'una càmera impulsada per paletes excèntriques. Al girar, l'aigua queda adossada a les parets, deixant l'interior com una càmera que aprofita per succionar els gasos del sistema.

És important que les bombes tinguin una entrada constant d'aigua per assegurar el correcte funcionament de la bomba.

Aquest servei està subministrat per Telstar, a continuació es mostra un esquema del equip.