

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ÀCID ACETILSALICÍLIC

PROJECTE FINAL DE CARRERA

Enginyeria Química



Autors: Brenda Baena Diaz

Cesar Castellón Felipez

Bernat Cots Escudé

Yago Domínguez Muñoz

Daniel Ruiz Granados

Tutor: Josep A. Torà

Cerdanyola del Vallès | Juny 2019

PLANTA DE PRODUCCIÓ D'ÀCID ACETILSALICÍLIC

PROJECTE FINAL DE CARRERA

Enginyeria Química



CAPITOL 1

ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

ÍNDEX

1.1. DEFINICIÓ DEL PROJECTE	3
1.1.1. Bases del projecte	3
1.1.2. Abast del projecte	4
1.1.3. Localització de la planta SALICACEA.....	5
1.1.3.1. Paràmetres d'edificació i pla de la parcel·la	6
1.1.3.2. Avaluació de les comunicacions i accessibilitat de la planta	7
1.1.3.3. Característiques del medi físic de la zona	9
1.1.4. Abreviacions	12
1.2. CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS UTILITZATS A SALICACEA .	15
1.2.1. Producte final: Àcid acetilsalicílic	15
1.2.2. Matèries primeres	17
1.2.2.1 Fenol	17
1.2.2.2 Hidròxid de sodi	19
1.2.2.3 Diòxid de carboni	20
1.2.2.4 Àcid sulfúric.....	22
1.2.2.5 Anhidre acètic	23
1.2.3. Subproductes i altres compostos	25
1.2.3.1 Sulfat de sodi.....	25
1.2.3.2 Àcid acètic.....	26
1.2.4. Corrosió i materials.....	28
1.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ	29
1.3.1. Diagrama de blocs	30
1.3.2. Diagrama de procés	32
1.3.3. Descripció detallada.....	33
1.4. CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA.....	39
1.4.1. Distribució per àrees	39
1.4.2. Descripció qualitativa de la planta.....	40

1.5.BALANÇ DE MATÈRIA	44
1.5.1. Consideracions generals	44
1.5.2. Presentació del balanç de matèria	45
1.5.3. Comprovació del balanç de matèria	46
1.6.SERVEIS A LA PLANTA SALICACEA.....	47
1.6.1. Energies	48
1.6.1.1. Electricitat	48
1.6.1.2. Gas natural.....	49
1.6.2. Fluids	49
1.6.2.1. Aigua d'incendis	50
1.6.2.2. Aigua de refrigeració	50
1.6.2.3. Vapor d'aigua	50
1.6.2.4. Nitrogen	51
1.7.PROGRAMACIÓ TEMPORAL DE LA PLANTA SALICACEA.....	51
1.8. PROGRAMACIÓ DEL PROCÉS PRODUCTIU	54
1.9.BIBLIOGRAFIA.....	58

1.1. DEFINICIÓ DEL PROJECTE

En aquest capítol 1 es presenta les especificacions relacionades amb el projecte de disseny de la planta SALICACEA. Per tant, resulta ser un resum (bastant sintetitzat) de tots els aspectes més generals que engloba l'entorn de l'empresa.

Abans, però, d'iniciar amb dites especificacions es vol fer una petita explicació de l'origen del nom de l'empresa, SALICACEA. L'objectiu d'aquesta empresa es, tal i com es veurà més endavant, la producció d'àcid acetilsalicílic. Aquest compost s'elabora a partir del àcid silícic. Aquest precursor del que es coneix avui comunament com *aspirina* s'obtenia en l'antiguitat de l'escorça del salze, per tant, resultava ser un precursor natural. D'aquí rep, també, el seu nom.

I el salze (*Salix*, en llatí) és un gènere de plantes amb flor de la família salicàcies. Llavors, d'aquí prové el nom de l'empresa, d'aquesta forma es fa un homenatge a l'origen natural de producció de l'àcid acetilsalicílic.

1.1.1. Bases del projecte

L'objectiu principal del projecte és l'estudi i viabilitat de la construcció d'una planta química de producció d'àcid acetilsalicílic a partir de fenol i hidròxid sòdic. La presentació d'aquest producte final es en forma d'API.

Aquest terme són les sigles en anglès de "*Active Pharmaceutical Ingredient*" i fa referència als ingredients o substàncies farmacèutiques actives que eventualment poden arribar a ser convertides en un medicament.

La definició oficial d'aquest terme la realitza l'OMS (Organització Mundial de la Salut) i es la següent:

"Qualsevol substància utilitzada en un producte farmacèutic terminat (FPP o *Finished Pharmaceutical Product*) que té com objectiu final el desenvolupament d'una activitat farmacològica o generar algun efecte directe en el diagnòstic, tractament o prevenció d'una malaltia en el pacient"

Cal dir, que al realitzar una mescla d'un API amb un excipient (substància inactiva) o amb algun altre API, deixarà de rebre el títol d'API y serà, ara, considerat com matèria primera d'un producte farmacèutic terminat.

Dit això, es considera que l'API es en essència el primer pas en la generació d'un medicament. Encara que no per aquest motiu es desvincula de l'alta complexitat que implica l'indústria farmacèutica, ja que es considerada una de les més regulades i amb una estricta qualitat en documentació, manipulació, emmagatzematge i/o distribució (Han de seguir el document GMPs que recull les bones pràctiques de manufactura).

Un cop explicat la forma en la qual s'ha d'obtenir el producte fina es citen breument les especificacions del projecte són els següents:

- Producció anual: 3.000 tones d'aspirina
- Funcionament del la planta: 300 dies/any de producció
- Presentació del producte: Sòlid a granel en bidons de 200 kg

La planta de producció es situa al municipi de Reus.

El seu disseny i construcció passa per l'aplicació dels límits que estableix la normativa sectorial i urbanística, incidint de forma crítica en les àrees de medi ambient i seguretat, claus per al bon funcionament i la bona gestió de recursos que permet minimitzar l'impacte mediambiental.

La planta també ha d'estar dissenyada completament d'acord a normativa GMP (Good Manufacturing Practices) per la indústria farmacèutica, tant des de l'entrada de personal i matèries primeres, fabricació, emmagatzematge i expedició de producte acabat.

1.1.2. Abast del projecte

L'abast d'un projecte es la suma de tots els requisits i característiques que ha de complir el disseny de la planta. Per tant, s'utilitza per representar la totalitat de treball necessari per donar per finalitzat un projecte.

Aquests requisits seran citats, a continuació, de forma ràpida i breu.

El projecte haurà de contemplar com a mínim les següents àrees:

- Unitats de procés i reacció per la producció i la purificació del producte
- Unitats d'emmagatzematge de matèries primeres i de carrega i descarrega
- Emmagatzematge de producte acabat
- Àrees de serveis
- Oficines, laboratoris i vestuaris
- Àrees auxiliars (aparcament, control d'accessos, contra incendis, depuració d'aigües i gasos)

1.1.3. Localització de la planta SALICACEA

La localització escollida per la planta es trobar al terme municipal de Reus, al polígon industrial “Gasos Nobles”.

El terme municipal de Reus es troba a la província de Tarragona, concretament a la comarca del Baix Camp. Està compresa entre els termes municipals de Riudoms, Castellvell del Camp, Almoixarres i la Selva del Camp.

A continuació es presenta una imatge amb la localització exacta del municipi de Reus dintre de la comunitat autònoma catalana.



Figura 1.1.3.1. Localització de la planta a Catalunya (Reus)

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

El Polígon industrial disposa dels següents serveis a la parcel·la escollida:

Taula 1.1.3.1: Serveis de parcel·la

Serveis	Tipus de serveis
Energia elèctrica	Connexió a peu de parcel·la des de la línia de 20 kV
Gas natural	Connexió a mitja parcel·la a mitja pressió (1,5 kg/cm ³)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m (Diàmetre del col·lector de 800 mm)
Aigua d'incendis	Connexió a peu de parcel·la de 4 kg/cm ² a màxima pressió
Aigua de xarxa	Connexió a peu de parcel·la de 4 kg/cm ² , amb un diàmetre de 200 mm

1.1.3.1. Paràmetres d'edificació i pla de la parcel·la

Els paràmetres d'edificació segons la normativa urbanística del municipi de Reus per al polígon industrial "Gasos Nobles" són els següents:

Taula 1.1.3.2: Paràmetres d'edificació

Paràmetre	Especificació
Edificabilitat	1,5 m ² Sostre/m ² sòl
Ocupació màxima de parcel·la	75%
Ocupació mínima de parcel·la	20% de la superfície de ocupació màxima
Reculada	5 m a viatges i veïns
Altura màxima	16 m i 3 plantes excepte en producció justificant la necessitat per el procés
Altura mínima	4 m i 1 planta
Aparcaments	1 plaça/150 m ² construïts
Distància entre edificis	1/3 de l'edifici més alt amb un mínim de 5 m

A continuació es mostra el plànol de la parcel·la on s'ubicarà la planta de producció d'àcid acetilsalicílic:

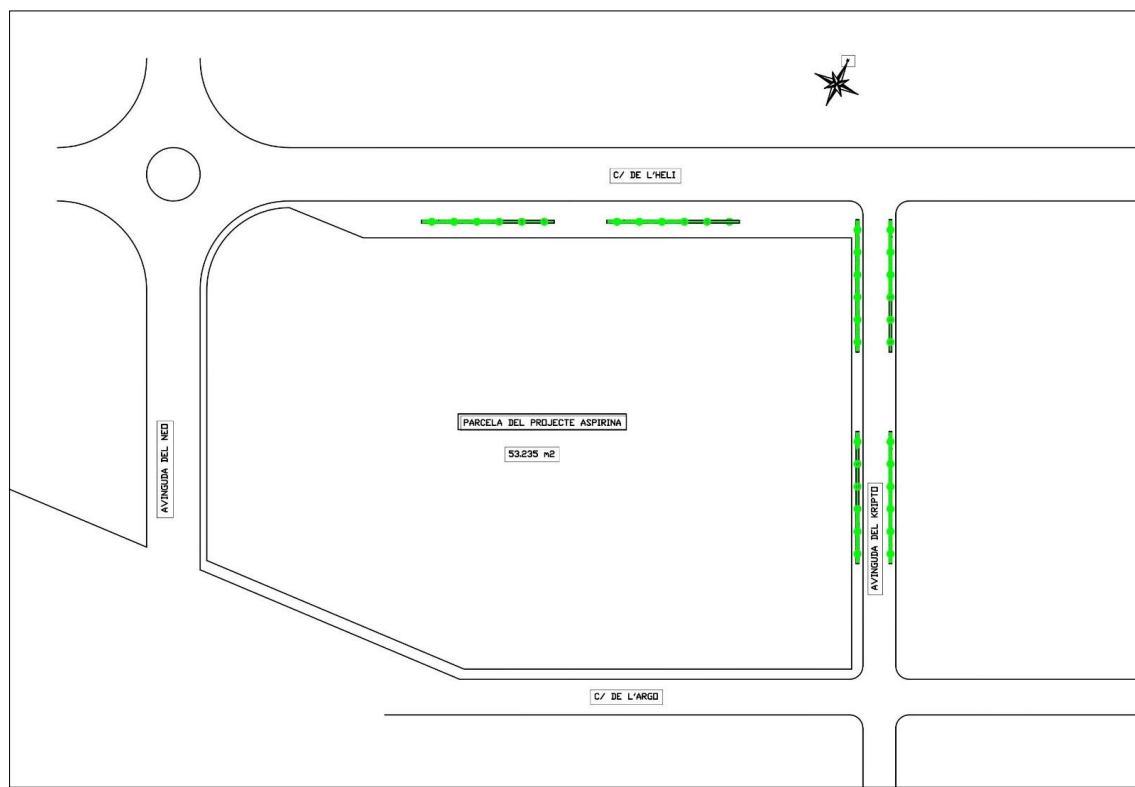


Figura 1.1.3.2. Plànol de la parcel·la de la planta a la ciutat de Reus.

1.1.3.2. Avaluació de les comunicacions i accessibilitat de la planta

Les comunicacions i accessos d'una planta química són punts clau en el moment d'escollir l'emplaçament, principalment per l'abastiment de matèries primeres, així com la distribució del producte acabat per a la seva comercialització.

El polígon industrial Gasos Nobles, situat a Reus. Pertany a un conjunt de empreses químiques molt important, on hi ha situades empreses tals com Repsol o BASF.

La indústria SALICACEA està situada en un punt de fàcil accés per via terrestre, marítima i aèria. Per tant, es un punt d'avantatge per a la mateixa, donat que disposar amb proximitat a grans xarxes viària assegura que els transport de matèria es pugui donar de forma més senzilla i ràpida.

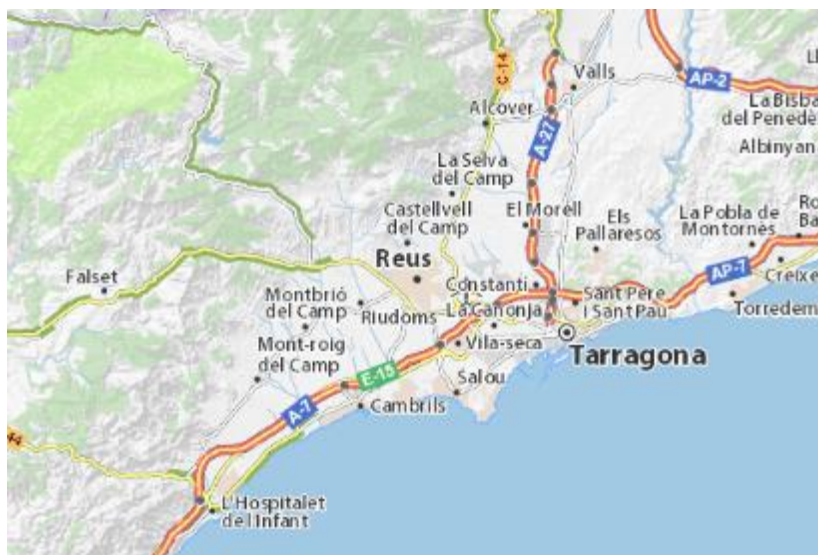
VIA TERRESTRE

Reus disposa d'una ampla connexió de carreteres i vies ferroviàries.

-Per connexió de carreteres a Reus es pot accedir a través de la carretera comarcal C-14, per la nacional N-340 i per les autopistes AP-7 i A-7.

-Per connexió ferroviària a Reus es pot accedir, tot i que principalment transporta viatgers, també hi circulen trens amb mercaderies.

Figura 1.1.3.3: Xarxa de Carreteres de Reus



VIA MARÍTIMA

La proximitat de Reus al mar, fa possible que el polígon industrial Gas Noble hi hagi transport per via marítima de mercaderies. A prop del polígon es troben:

- El Moll de la Química
- El Moll d'Aragó entre d'altres.

VIA AÈRIA

Pel que fa el transport aeri, el polígon disposa de:

- Aeroport de Reus a, situat aproximadament 10 km
- Aeroport de Barcelona - El Prat, aquest es el segon centre de carrega aèria més important a nivell estatal, situat a 85 km.

1.1.3.3. Característiques del medi físic de la zona

- **Climatologia**

El clima de la província de Tarragona és un clima càlid i temperat, un clima típic del Mediterrani de tipus C segons la classificació de Köppen.

La temperatura anual a Reus és de 16,1 °C segons l'observatori de l'aeroport de Reus. Les precipitacions a Reus, són molt escasses, es pot observar que hi ha més precipitacions als mesos d'hivern. Als gràfics que es presenten a continuació, es representa les temperatures i precipitacions al llarg de l'any 2018 a Reus.

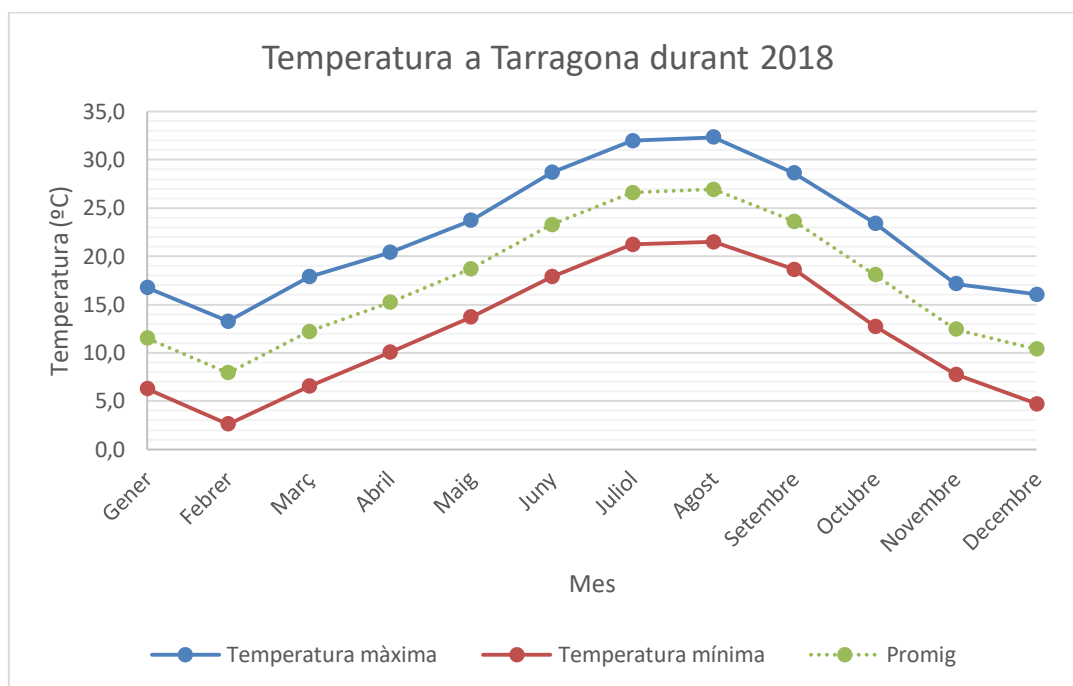


Figura 1.1.3.4: Evolució anual de la temperatura en Reus (2018)

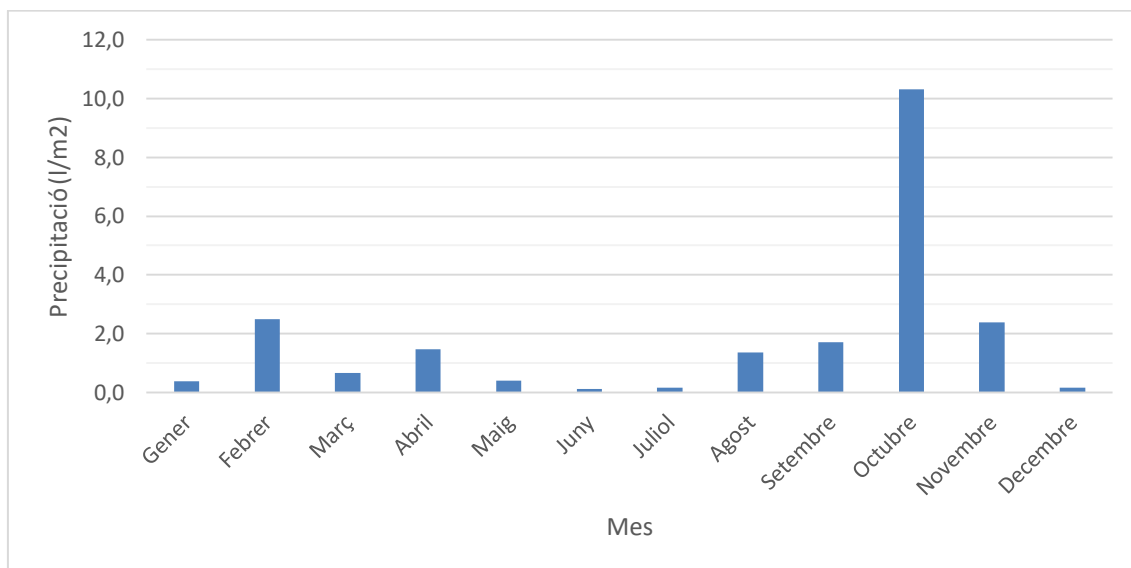


Figura 1.1.3.5: Evolució anual de les precipitacions en Reus (2018)

Taula 1.1.3.3: Velocitat del vent a Reus (2018)

Característica	Velocitat (m/s)	Velocitat (km/h)	Data
Ratxa de vent més alta registrada	34,4	124	31/03/2018
Velocitat mitja més alta registrada	16,9	61	-

- **Geografia**

Reus és un municipi que es troba a una altitud per sobre del mar que oscil·la entre els 114 i 180 msnm. El terreny del municipi és generalment pla amb la excepció del nord on s'alcen uns petits turons, que són els darrers contraforts de les muntanyes de Prades. El terme municipal està situat gairebé al centre de la plana del Camp.

El municipi confronta amb els següents municipis:

- Nord

Aleixar

Castellvell del Camp

Almóster

La Selva del Camp

- Oest
Riudoms
Tarragonès
- Est
Constantí
- Sud-Est
Tarragona
- Sud
Vila-Seca

En quan a rius, cap riu travessa el municipi, però hi ha nombrosos barrancs i rieres, com els barrancs dels Cinc Ponts, el Roquis, l'Escorial i Pedret i les rieres de la Quadra, l'Abeurada, la Selva, el Molinet i el Pi del Bugar.

- **Sismologia**

Catalunya es pot considerar com una zona d'activitat sísmica moderada tot i que amb la possibilitat que es produeixin esdeveniments amb un potencial de dany elevat, tal com recull el registre històric i instrumental realitzat per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya.

En àrees com Catalunya on no és sempre possible identificar els epicentres dels terratrèmols amb falles conegudes, és més adient des d'un punt de vista pràctic introduir el concepte de zona sismotectònica que parlar de falles actives. La hipòtesi bàsica és considerar que l'heterogeneïtat de l'escorça terrestre pot explicar la distribució de la sismicitat.

A la següent figura es mostren la classificació dels municipis de Catalunya amb la intensitat d'un terratrèmol en l'escala MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik).

Aquesta escala es un tipus d'escala d'intensitat macrosísmica utilitzada per avaluar la força dels moviments de terra basant-se en els efectes destructius en les construccions humanes i en el canvi d'aspectes del terreny, així, com en el grau d'afectació entre la població. Té dotze graus d'intensitat, sent el més baix el número 1, i expressats en nombre romans.

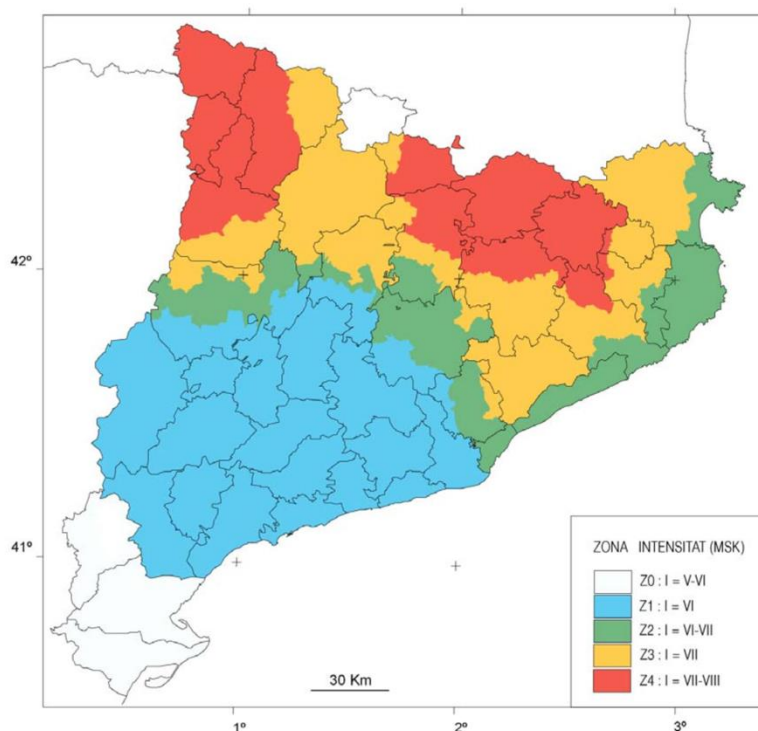


Figura 1.1.3.6: Intensitat de terratrèmols segons els diferents municipis de Catalunya (2018)

Es pot observar que a la gràfica (figura 1.6), podem veure que Reus té un risc de VI en l'escala MSK de sismicitat.

1.1.4. Abreviacions

Per tal de simplificar i facilitar la comprensió i lectura del projecte, s'ha creat una nomenclatura i una abreviació que s'utilitzarà durant tot el projecte.

Tal i com es descriu en l'apartat de *1.5 Distribució de planta*, la planta està constituïda per diferents àrees en funció de la tasca que es du a terme. Aquestes àrees estan recollides en la següent taula 1.4.

Taula 1.1.4.1: Abreviacions de les àrees de la planta industrial SALICACEA

Zona	Descripció
A-000	Emmagatzematge de matèries primeres
A-100	Primera etapa de procés: Carboxilació
A-200	Segona etapa de procés: Obtenció del àcid salicílic
A-300	Tercera etapa del procés: Obtenció del àcid acetilsalicílic
A-400	Sala blanca: Acondicionat del àcid acetilsalicílic
A-500	Emmagatzematge del producte final (API)
A-600	Tractament i emmagatzemament de residus
A-700	Zona de càrrega i descàrrega
A-800	Zona de subministrament de serveis
A-900	Oficines i pàrquing
A-1000	Laboratori i sala de control
A-1100	Bassa contra incendis

La codificació dels diferents equips de la que està formada la planta es recull a la següent taula, la taula 1.5.

Taula 1.1.4.2: Abreviacions dels equips de procés de la planta industrial SALICACEA

Equip	Codi
Assecador	D
Centrifugadora	S
Cristal·litzador	Cr
Evaporador	E
Filtre	F
Mesclador	M
Precipitador	Pr
Reactor	R
Molí-Tamisador	Tm
Tanc	T
Bomba	P
Bomba de sòlids	SP

Per tal de facilitar la interpretació i optimitzar dels diagrames de la planta, s'estableix una codificació dels fluids de procés emprats en la planta. Aquests fluids s'especifiquen a la Taula 1.6 (substàncies) i Taula 1.7 (mescla de substàncies).

Taula 1.1.4.3: Abreviacions de les substàncies utilitzades en la planta industrial SALICACEA

Fluid	Abreviatura
Fenol	F
Fenol recirculat	FR
Hidròxid Sòdic 50%	Na50
Fenolat sòdic	FNa
Diòxid de Carboni	C02
Àcid sulfúric 60%	S60
Salicilat disòdic	SaNa
Àcid salicílic	AS
Anhidre acètic	AA
Àcid acètic	HA
Àcid acetilsalicílic	ASA
Isòmer	I
Sulfat sòdic	SuNa
Aigua	W
Nitrogen	N
Vapor	V
Aigua	W
Aire	AI

Taula 1.1.4.4: Abreviacions de les mescles utilitzades en la planta industrial SALICACEA

Mescla	Abreviatura
FNa + W	M1
FR+SaNa	M2
SaNa+W	M3
AS+SuNa+W	M4
W+SuNa	M5
AS+I	M6
W+I+AS	M7
W+I	M8
ASA+HA	M9
HA+W	M10

1.2.CARACTERÍSTIQUES I PROPIETATS DELS COMPOSTOS UTILITZATS A SALICACEA

Per tal de poder sintetitzar el producte d'interès, àcid acetil salicílic, s'utilitza un nombre bastant elevat de substàncies, aquest fet es deu a que la matèria primera utilitzada per sintetitzar-la, l'àcid salicílic, no es compra si no que s'ha de sintetitzar, també. Aquest es l motiu pel qual resulta un procés una mica extens.

Doncs, bé aquest subapartat es troba destinat a parlar sobre les diferents propietats i característiques que presenten aquestes substàncies implicades en la síntesi de l'API. Es començarà parlant del producte final, seguidament de les matèries primeres necessàries, i, en últim lloc es parlarà sobre les substàncies obtingudes de forma secundària en el procés de producció d'àcid acetilsalicílic.

1.2.1. Producte final: Àcid acetilsalicílic

Abans, d'explicar les diferents propietats i característiques que té aquest compost es troba d'interès fer un breu repàs de la història sobre aquest producte final.

La primera referència del Salze com droga (conté àcid salicílic) es troba en el paper d'Ebbers que és un text mèdic egipci de l'any 1543 aC. En aquest document s'exposa les propietats antiinflamatòries , analgèsiques i antipirètiques.

En el segle IV a.C, Hipòcrates va observar que el pols de l'escorça del salze (*Salix alba*) que contenia salicilina i tenia propietats analgèsiques i antipirètiques.

En el segle XVIII s'utilitzava l'extracte de l'escorça del salze per alleujar la febre, el dolor i la inflamació.

En 1834, el farmacèutic Johann Pagenstecher va descobrir l'àcid salicílic obtingut a partir de *Spinae ulmària*, que servia per disminuir el dolor.

En 1884, el químic Felix Hoffman mentre investigava per al laboratori Bayer volia crear un compost amb àcids salicílic i acètics, i va obtenir l'àcid acetilsalicílic.

L'àcid acetilsalicílic (conegut comunament com Aspirina) es un àcid orgànic d'aspecte polvorí de color blanc o incolor poc soluble en aigua i molt soluble en alcohol. Es fon, aproximadament, a 143 °C i presenta una densitat de 1400 Kg/m³.

Aquest àcid es un fàrmac prototip dels salicilats que pertany al grup d'analgèsics antitèrmics i antiinflamatoris no esteroïdes.

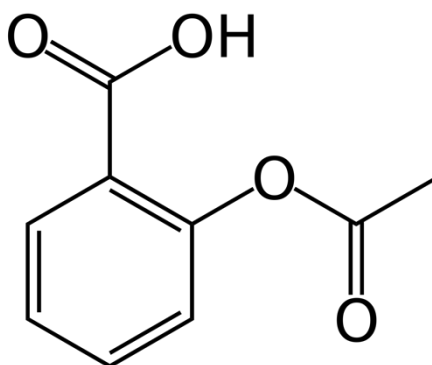


Figura 1.2.1: Àcid acetilsalicílic

Per tant, l'aplicació de l'àcid acetilsalicílic es situada en la indústria farmacèutica, concretament en la fabricació de fàrmacs.

L'ús majoritari de l'àcid és en la fabricació fàrmacs per tractar el dolor, reduir la febre i la inflamació. També te altres aplicacions com la de medicament per a tractar o prevenir atacs cardíacs, vessaments cerebrals o dolors toràcics.

La reacció química per a l'obtenció del acetilsalicílic es una esterificació. L'àcid salicílic es tractat amb anhidre acètic (la forma deshidratada del àcid acètic), això provoca que un grup alcohol del àcid salicílic esdevingui un grup acetil, tal i com s'observa a la figura 1.8, donant així com a producte el acetilsalicílic i com a subproducte l'àcid acètic.

Per tal de que tingui lloc la aquesta reacció d'esterificació es necessari que es tingui un medi àcid, el qual s'aconsegueix addicionant una petita quantitat d'àcid sulfúric, per tant, es pot dir que l'àcid sulfúric es el catalitzador de la reacció.

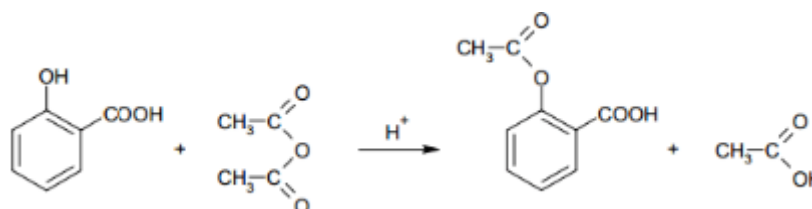


Figura 1.2.2: Àcid acetilsalicílic

Les diferents propietats que té aquesta substància es troben recollides en la taula 1.2.0

Figura 1.2.0: Propietats de l'àcid acetilsalicílic

Formula molecular		C₉H₈O₄
Pes molecular	180,2	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	130 °C	°C
Punt d'ebullició (P= 1 atm)	Indeterminat	°C
Densitat (T=20°C)	1400	Kg/m ³
Pressió de vapor (T=20°C)		Pa
Punt d'inflamació	250 °C	°C
Temperatura d'autoignició	500 °C	°C
Solubilitat en aigua (T=20°C)	3,3	g/L
pH	3,5	

1.2.2. Matèries primeres

Les matèries primeres utilitzades en el procés productiu de l'àcid acetilsalicílic són cinc en total. I es reparteixen de la següent manera: Quatre per a la primera etapa del procés, la qual correspon a la síntesi de l'àcid salicílic, i una per a la segona etapa, la qual engloba la síntesi de l'àcid acetilsalicílic.

Aquestes quatre matèries són: Fenol, hidròxid de sodi al 50%, diòxid de carboni i àcid sulfúric. I la darrera i única matèria primera per a la producció de l'àcid d'interès és l'anhidre acètic (juntament amb l'àcid salicílic, però, tal i com s'ha anat mencionant aquesta no es considerada una matèria primera donat que també s'ha de produir, al igual que el àcid acetilsalicílic.

1.2.2.1 Fenol

El fenol va ser descobert per Friedrich Ferdinand l'any 1834, per primer cop s'extreia (en forma impura) del quitrà d'hulla. Aquest quitrà es format per hidrocarburs aromàtics, bases nitrogenades i fenols, i s'utilitzava com a matèria primera fins que va aparèixer l'industria petroquímica.

Al 1836, Auguste Laurent l'aïlla de forma pura i l'anomena "phénol", degut a que "phène" feia referencia al benzè i el -ol a un grup alcohol.

El fenol tracta d'un compost orgànic, concretament es tracta d'un alcohol aromàtic, que pren una forma cristal·lina si es troba a temperatura ambient. Aquesta substància pot sintetitzar-se mitjançant l'oxidació parcial del benzè.

Les diferents propietats que té aquesta substància es troben recollides en la taula 1.2.1

Taula 1.2.1: Propietats físiques i químiques del fenol

Formula molecular		C₆H₆O
Pes molecular	94,11	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	42	°C
Punt d'ebullició (P= 1 atm)	181	°C
Densitat (T=20°C)	1071	Kg/m ³
Pressió de vapor (T=20°C)	47	Pa
Punt d'inflamació	79	°C
Temperatura d'autoignició	715	°C
Solubilitat en aigua (T=20°C)	8,3 g /100 mL	
pH	4-5	

En la figura 1.2.3 es pot trobar una imatge de l'estructura molecular del fenol.

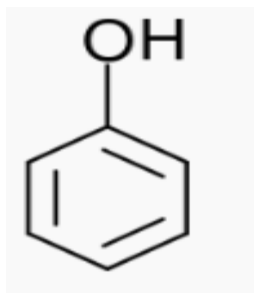


Figura 1.2.3: Fenol

Dit compost es altament perillós degut a:

- Tòxic en cas de ingestió, contacte amb la pell o inhalació
- Provoca cremades greus en la pell i lesions oculars greus
- Es sospita que pot ser causant de provocar efectes genètics
- Pot provocar danys en els òrgans tres exposicions prolongades o repetides
- Tòxic per als organismes aquàtics, amb efectes nocius duradors

En la taula 1.2.2. es troben de forma sintetitzada els perills que ocasiona aquest sòlid.

Taula 1.2.2: Perills del fenol

Substància	Categoria
Fenol	Tòxic
	Mutagènic
	Corrosiu
	Perillós pel medi ambient

L'aplicació principal del fenol es en la producció de resines fenòliques (molt resistents a la calor i a l'aigua) i en la manufactura del niló i altres fibres sintètiques. A més, també es molt utilitzat en l'indústria química, farmacèutica i clínica com a potent fungicida, bactericida, sanititzant, anti-septic i desinfectant.

Altres aplicacions que té es en preparacions mèdiques com esbandides bucals i pastilles per al mal de gola. També, per descomptat, en la fabricació d'àcid acetilsalicílic

1.2.2.2 Hidròxid de sodi

L'hidròxid de sodi utilitzat en la planta SALICACEA per a la síntesis de l'àcid acetilsalicílic té una concentració en massa del 50%.

Aquesta substància es tracta d'un compost inorgànic conegut, també, amb el nom de sosa càustica. Originalment, era un compost que s'extreia de forma natural de diferents plantes, sent la més comuna la Salsola Sativa. Més tard, i degut a l'augment de la demanda d'aquest producte es fa començar a sintetitzar de forma natural amb un procés ideat per Nicholas Leblanc.

Aquesta via de producció, però, implicava l'alliberació de residus contaminants com el gas sulfhídric (aquest posseeix una olor molt desagradable). I en resposta a aquesta situació Ernest Solvay va idear un procés amb el cognom del mateix que aconseguia sintetitzar-la sense generar els residus abans esmentats. Actualment s'obté de la electròlisi de l'aigua salada, es a dir, d'una solució aquosa de clorur de sodi., cal dir, però que es un subproducte d'aquest procés que es destina a la síntesis de clor molecular.

Les diferents propietats que té aquesta substància es troben recollides en la taula 1.2.2.

Taula 1.2.2: Propietats físiques i químiques del hidròxid de sodi al 50%

Formula molecular		NaOH
Pes molecular	40	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	12	°C
Punt d'ebullició (P= 1 atm)	142	°C
Densitat (T=20°C)	1520	Kg/m ³
Pressió de vapor (T=20°C)	200	Pa
Punt d'inflamació	No aplica	°C
Temperatura d'autoignició	No aplica	°C
Solubilitat en aigua (T=20°C)	Totalment soluble	
pH	14	

L'hidròxid sòdic es una substància considerada perillosa degut al caràcter altament corrosiu que presenta no únicament per al contacte amb el teixit humà (o de qualsevol altre ser viu) si no que, també, pot resultar corrosiu per als metalls.

Altres perills que presenta es que reacciona de forma violenta amb l'aigua (en cas de tenir-la en forma de perles, es a dir, quan no es tracta d'una solució aquosa) degut a que es una reacció fortament exotèrmica.

Resumint es perillosa per:

- Poder altament corrosiu per teixit viu i per metalls
- Reacciona fortament amb l'aigua si es troba en forma de perles

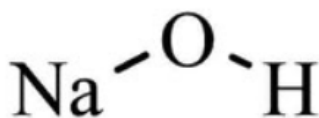


Figura 1.2.4: Hidròxid de sodi

Les aplicacions més usades de l'hidròxid de sodi en l'àmbit industrial es en la fabricació de paper per tal de blanquejar el mateix, en teixits i en l'elaboració de detergents. Altres usos que té es en l'indústria petrolera per a la elaboració de fangs de perforació a base d'aigua, aquests fangs s'utilitzen per evitar o reduir els ensorraments del terreny quan es realitza un excavació.

1.2.2.3 Diòxid de carboni

El diòxid de carboni es un compost inorgànic en forma de gas incolor i existeix de forma natural en la atmosfera de la Terra com a gas traça. Fonts naturals que emeten aquest tipus de gas són els volcans, aigües termals, guèisers i es alliberat, també, per roques carbonatades al diluir-se en aigua o àcids.

Altres fonts que contribueix a la essència del diòxid de carboni en l'aire es la respiració de les plantes, animals i éssers humans, així, també, com la combustió de compostos fets principalment de carbó.

Un dels primers químics que va estudiar amb més profunditat aquest compost va ser Joseph Black. Aquest científic va trobar que quan la pedra calcària (carbonat càlcic) era esclafada o tractada amb àcids produïa un gas que va anomenar "aire fix" però que es tractava de diòxid de carboni.

Més tard, Antoine Lavoisier el va identificar com òxid de carboni al demostrar que el gas obtingut per la combustió del carbó de llenya era idèntic en propietats al “aire fix” obtingut per Black.

Una de les vies d'obtenció d'aquest gas es per la combustió o oxidació de materials que continguin carboni o per descomposició de carbonats.

En la taula 1.2.3 es presenten les propietats del diòxid de carboni.

Taula 1.2.3: Propietats físiques i químiques del diòxid de carboni

Formula molecular		
Pes molecular	44	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	-78	°C
Punt d'ebullició (P= 1 atm)	-57	°C
Densitat (T=20°C)	1,98	Kg/m ³
Pressió de vapor (T=20°C)	5720	kPa
Punt d'inflamació	No aplica	°C
Temperatura d'autoignició	No aplica	°C
Solubilitat en aigua (T=20°C)	1450	g/m ³

En la figura 1.2.34 es pot trobar una imatge de l'estructura molecular del gas en qüestió.



Figura 1.2.5: Diòxid de carboni

El perill més rellevant que presenta aquesta substància es que en ser més dens que l'aire es pot acumular en les zones més baixes produint així una deficiència d'oxigen, conseqüentment, comporta un risc d'asfíxia.

Altra perill que pot comportar en cas de que aquest s'emmagatzemi en forma de gas líquid (que es com es guarda normalment per estalviar espai) es que si hi ha una fuga el líquid condensa formant gel sec extremadament fred i si aquest es toca de forma accidental pot ocasionar greus cremades en la pell.

L'aplicació principal d'aquest gas incolor es la fabricació de begudes refrescants gasoses i com agent extintor, ja que com s'ha comentat anteriorment és més dens que l'aire i, per tant, pot eliminar el foc ofegant-lo (Aquest aspecte es tracta amb més detall en el *Capítol 5: Seguretat i Higiene*).

Altres usos molt comuns, però, que no es tracta de l'àmbit industrial es la seva utilització per escenaris de concerts o d'obres de teatre per així causar l'efecte de boira (en aquest cas es tracta del diòxid de carboni en la seva forma sòlida, la qual es coneix amb el nom de gel sec).

1.2.2.1 Àcid sulfúric

L'àcid sulfúric utilitzat en la planta SALICACEA per a la síntesis de l'àcid acetilsalicílic té una concentració en massa del 60%.

Aquesta substància es tracta d'un compost inorgànic fort que es troba en estat líquid i amb una aparença incolora. Té un poder elevat tant d'oxidant com de corrosiu, a més, de resultar, també, un agent deshidratant.

L'àcid sulfúric és el compost que més es produeix en el món, per tant, és un dels processos productius més importants que es té en l'àmbit industrial. Tant és així que s'utilitza com a mesura de la riquesa d'un país i de la capacitat industrial del mateix. La seva importància ve derivada del fet de ser el primer àcid no natural obtingut, i, per tant de ser un dels primers processos industrials.

Es té constància de processos productius d'aquests composts que daten del segle XV, el qual es sintetitzava per combustió del sofre en atuell humides i en presència de sal nitro. Més tard, en el segle XII s'obtenia per destil·lació del alum (aquest es tracta d'un mineral sulfat dodecahidratat), i en el segle XVIII es va començar a sintetitzar per el mètode conegut com el mètode de les càmeres de plom, el qual es va substituir pel mètode de contacte degut a l'alt impacte mediambiental que suposava.

Actualment, el procés utilitzat és el citat en última instància, aquest consisteix en l'oxidació del SO_2 per generar SO_3 i, després, absorbir aquest compost amb aigua per generar finalment l'àcid sulfúric.

Les diferents propietats que té aquesta substància es troben recollides en la taula 1.2.4

Taula 1.2.4: Propietats físiques i químiques del àcid sulfúric al 60%

Formula molecular		H_2SO_4
Pes molecular	98	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	-8°C	°C
Punt d'ebullició (P= 1 atm)	140°C	°C
Densitat (T=20°C)	1450	Kg/m ³
Pressió de vapor (T=20°C)	370	Pa
Punt d'inflamació	No aplica	°C
Temperatura d'autoignició	No aplica	°C
Solubilitat en aigua (T=20°C)	Soluble	

En la figura 1.2.6 es pot trobar una imatge de l'estructura molecular del àcid sulfúric.

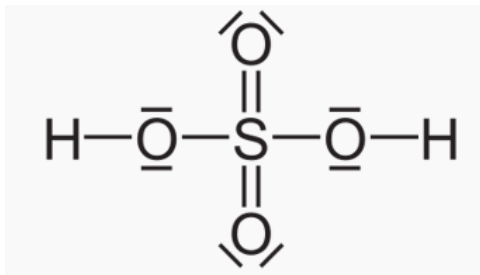


Figura 1.2.6: Àcid sulfúric

Tal i com s'ha mencionat en la plana anterior, l'àcid sulfúric presenta un elevat grau de corrosió, per la qual cos, pot genera greus cremades en contacte amb la pell, a més de que si el contacte es produeix amb els ulls el dany pot ser de forma permanent i causar, així, ceguera.

Inclús la quantitat més petita pot causar danys greus (com els citats anteriorment). La possible inhalació de gasos d'aquest compost pot causar dificultats per respirar i una sensació d'ardor en el sistema respiratori.

Encara que no hi ha risc d'incendi o explosió amb àcid sulfúric únicament, es altament combustible quan es combina amb matèria orgànica.

L'aplicació més important d'aquest àcid es en l'obtenció de fertilitzants i en la producció d'òxid de titani, el qual es utilitzat com a pigment.

1.2.2.5 Anhidre acètic

Qualsevol substància que porti el nom d'anhidre resulta ser la forma deshidratada, per tant, l'anhidre acètic es la forma deshidratada de l'àcid acètic es per aquest motiu que es un compost que reacciona amb l'aigua.

Donat que prové de l'àcid acètic, l'anhidre es un compost orgànic, més concretament es troba dintre de la categories dels anhídres carboxílics, i és un dels compostos orgànics més simples. El seu tret característic és la forta olor a vinagre (àcid acètic) degut a la reacció amb la humitat del aire.

Actualment l'anhidre acètic s'obté per oxidació del etanal amb l'oxigen molecular, formant-se així àcid peracètic, i, aquest reacciona de forma catalítica amb altre molècula de etanal per donar, finalment, lloc a l'anhidre acètic. Altre opció a questa via de producció es la síntesi per piròlisi de l'àcid acètic a cetena que per reacció amb una segona molècula d'àcid acètic es forma la forma anhidre d'aquest compost.

Les diferents propietats que té aquesta substància líquida i incolora es troben recollides en la taula 1.2.5

Taula 1.2.5: Propietats físiques i químiques del anhidre acètic

Formula molecular		C₄H₆O₃
Pes molecular	102,1	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	-73	°C
Punt d'ebullició (P= 1 atm)	139	°C
Densitat (T=20°C)	1080	Kg/m ³
Pressió de vapor (T=20°C)	0,5	kPa
Punt d'inflamació	49	°C
Temperatura d'autoignició	316	°C
Solubilitat en aigua (T=20°C)	Reacciona	

En la figura 1.2.7 es pot trobar una imatge de l'estructura molecular del anhidre acètic.

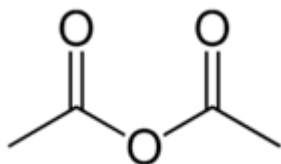


Figura 1.2.7: Anhidre acètic

Aquesta substància presenta bastant perillositat degut a que presenta una sèrie de riscos, els quals són citats breument a continuació:

- Líquids i vapors inflamables
- Nociu en cas d'ingestió o inhalació
- Provoca cremades greus en la pell i lesions oculars greus

En la taula 1.2.6. es troben de forma sintetitzada els perills que ocasiona aquest líquid.

Taula 1.2.6: Perills del anhidre acètic

Substància	Categoria
Anhidre acètic	Corrosiu Inflamable Tòxic

L'anhidre acètic es àmpliament utilitzat per a la acetilació de alcohols i amines. I, també, s'utilitza per a la fabricació d'acetat de cel·lulosa (plàstics i fibres tèxtils).

1.2.3. Subproductes i altres compostos

Les matèries que se n'obtenen de forma secundària en el procés productiu de l'àcid acetilsalicílic són, bàsicament, dues. I s'obtenen de la següent manera: Una s'obté en la primera etapa del procés, la qual correspon a la síntesi de l'àcid salicílic, i l'altre s'obté en la segona etapa, la qual engloba la síntesi de l'àcid acetilsalicílic.

Aquestes quatre matèries són: el sulfat de sodi i l'àcid acètic, respectivament.

1.2.3.1 Sulfat de sodi

El sulfat de sòlid és una substància cristal·lina incolora que presenta molt bona solubilitat en l'aigua i mala solubilitat en la majoria dels dissolvents orgànics, amb l'excepció de la glicerina. Com el seu nom indica està formada per sodi i sofre, i, per tant, es tracta d'un compost inorgànic.

El químic Johann Rudolf Glauber va descobrir a principis del segle XVII, en l'aigua d'una deu d'Àustria, el sulfat de sodi decahidratat (degut aquest fet la forma hidratada d'aquesta sal es coneix com sal de Glauber) el qual posseeix propietats medicinals.

Actualment es sintetitza de forma industrial a partir de sal comuna i àcid sulfúric concentrat. Cal dir que aquesta sal es considera un dels productes químics més comercialitzats.

Les diferents propietats que té aquesta sal inorgànica es troben recollides en la taula 1.2.6.

Taula 1.2.6: Propietats físiques i químiques del sulfat de sodi (sòlid)

Formula molecular		Na₂SO₄
Pes molecular	142	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	844	°C
Punt d'ebullició (P= 1 atm)	1429	°C
Densitat (T=20°C)	2680	Kg/m ³
Punt d'inflamació	No aplica	°C
Temperatura d'autoignició	No aplica	°C
Solubilitat en aigua (T=30°C)	45,5	%
pH	11,1	

El sulfat de sodi és una substància que no es considera gaire perillosa degut a que es una substancia incombustible, per tant, no hi ha risc d'explosió dels seus pols. Resulta no reactiu davant de la majoria d'agents oxidants o reductors a temperatures normals. Tampoc resulta generalment gaire tòxica, només en cas d'ingesta.

L'aplicació principal d'aquesta sal inorgànica es com a farcit en detergents en pols per a ús domèstic degut al baix preu d'aquest compost i a la baixa reactivitat amb altres substàncies en condicions normals.

Altres usos molt típics del sulfat de sodi es en el procés Kraft per a la fabricació de pasta de fusta i en la indústria del vidre per tal d'eliminar petites bombolles d'aire que es puguin originar el vidre fos.

Cal dir que la forma en la qual s'obté a la planta SALICACEA es en forma de solució aquosa.

1.2.3.2 Àcid acètic

En el apartat 1.2.1 *Matèries primeres* s'ha comentat que una de les matèries primeres del procés d'obtenció de l'àcid acetilsalicílic era l'anhidre acètic. Aquest era la forma deshidratada del àcid acètic, llavors, es pot dir que l'àcid acètic es la forma hidratada del anhidre acètic.

L'àcid acètic es tracta del segon àcid carboxílic més simple que hi ha, després, de l'àcid fòrmic o, també, anomenat metanoic. La forma en la qual s'obté aquesta substància pot ser a través de dues vies, una biològica i una altra química. La més utilitzada d'aquestes dues es la segona esmentada.

Per via biològica s'obté es a través de la síntesi i fermentació bacteriana.

Per via química s'obté a partir, principalment, de la carbonilació del metanol. Aquest procés el metanol i el monòxid de carboni reaccionen per produir àcid acètic, aquesta síntesi, però, no es dona en una sola reacció sino que té lloc en tres passos on es forma una iodometà com a substància intermitja.

Les diferents propietats que té aquest àcid orgànic es troben recollides en la taula 1.2.6.

Taula 1.2.7: Propietats físiques i químiques del àcid acètic

Formula molecular		C ₄ H ₆ O ₃
Pes molecular	102,1	g/mol
Punt de fusió (P=1 atm)	17	°C

Producció d' Àcid Acetilsalicílic
Capítol 1: Especificacions del projecte

Punt d'ebullició (P= 1 atm)	118	°C
Densitat (T=20°C)	1040	Kg/m ³
Pressió de vapor (T=20°C)	20,8	hPa
Punt d'inflamació	39	°C
Temperatura d'autoignició	485	°C
Solubilitat en aigua (T=25°C)	603	g/L
pH	2,5	

En la figura 1.2.8 es pot trobar una imatge de l'estructura molecular del àcid acètic

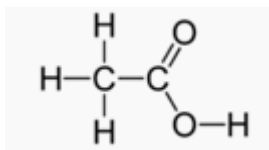


Figura 1.2.8: Àcid acètic

L'àcid acètic al igual que el anhidre acètic presenta una sèrie de perills que són els següents:

- Líquids i vapors inflamables
- Provoca cremades greus en la pell i lesions oculars greus
- Perillós per a la salut en general

En la taula 1.2.8. es troben de forma sintetitzada els perills que ocasiona aquest líquid.

Taula 1.2.8: Perills del àcid acètic

Substància	Categoria
Àcid acètic	Corrosiu Inflamable Tòxic Cancerigen/mutagènic

L'ús principal del àcid acètic es per a l'elaboració de diferents esters acètics que són utilitzats com a monòmers per a la formació de plàstics vinils, destacant així l'acetat de vinil, també, es utilitzat , per descomptat, per a la producció d'anhidre acètic, entre d'altres aplicacions.

1.2.4. Corrosió i materials

Existeixen diversos factors que contribueixen a la degradació d'un material i aquests són principalment els llistats a continuació:

- Corrosió
- Esforços mecànics
- Canvis de temperatura bruscos
- Erosió

Cal dir, però, que la corrosió es de tots ells el factor més rellevant en quant al tema de degradació d'un material. Degut aquest fet la corrosió es un factor molt important dintre de la indústria química, donat que aquesta es moltes vegades la causant de que els equips pateixen fugues o es malmetin, de forma general. I per tant, s'ha de fer un degut manteniment per tal d'evitar que situacions com aquestes puguin arribar a ocórrer, conseqüentment, aquests manteniments suposen un dels principals gestos dintre d'aquest tipus d'indústries .

Llavors, el manteniment suposa una de les mesures de prevenció contra la lluita de la corrosió molt important. Altre mesura que ajuda a disminuir els efectes de la mateixa es la bona elecció del material del qual estarà construït l'equip.

La corrosió no es més que el resultat d'un atac electroquímic del seu entorn i la velocitat a la qual té lloc dita reacció depèn de la temperatura, de la salinitat del fluid en contacte amb el metall i de les propietats del metall en qüestió.

En els subapartats anteriors (*1.2.2: Matèries primeres* i *1.2.3: Subproductes i altres compostos*) s'ha vist com moltes de les substàncies que es tracten en la planta SALICACEA tenen una naturalesa corrosiva. Esc citaran dits elements corrosius per tal de recordar quin eren els compostos que presentaven aquesta característica corrosiva.

1. Fenol
2. Hidròxid de sodi
3. Àcid sulfúric
4. Anhidre acètic
5. Àcid acètic

Llavors, per conèixer quin seria el material que presentes una millor comptabilitat amb aquestes substàncies i que evites el procés de degradació al màxim s'ha fet us de la

aplicació aplicació Harrington Chemical Guide. Aquesta aplicació resulta molt senzilla d'utilitzar, donat que indicant el fluid i el material et diu si aquests són compatibles o no.

S'ha verificat que per a totes les substàncies que es tracten a la planta SALICACEA l'acer inoxidable 316 es compatible, i no només, es compatibles si no que donava la categoria d'excel·lent. La excepció única es l'àcid sulfúric al 60% per aquest cas s'ha escollit el PVC (Policlorur de Vinil) per al tema canonades i per als tancs d'emmagatzematge acer al carboni amb un recoberta de Tefló. Cal dir que aquest material, també, es utilitzat per a les canonades on hi circulen fluids de servei, que no siguin l'aigua de refrigeració provinent dels equips de refredament.

El recobriment protector s'escull de Tefló perquè té un baix coeficient de fricció, i, per tant no dificultarà la circulació del fluid a través de la canonada. A més, resulta ser un material inert, conseqüentment, no existeix la possibilitat de que tingui lloc una reacció química amb la substància que hi circuli per dintre i, també, el fa resistent a l'atac de infinitat de productes químics.

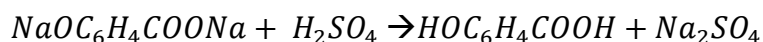
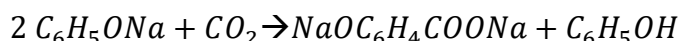
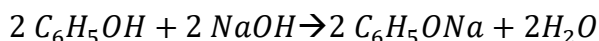
Altra bona característica d'aquest material es que pot treballar en un rang molt ampli de temperatures (des dels 260°C als -200°C) sense que s'alterin les seves propietats físiques, per tant, podrà suportar de forma correcta l'elevada temperatura amb la que viatja el vapor d'aigua (al voltant del 180 °C).

1.2. DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ

El procés de producció d'API d'àcid acetilsalicílic es realitza de forma discontinua degut a que es la metodologia emprada segons les diferents patents consultades. Aquestes patents es troben citades a l'*apartat 1.9: Bibliografia*.

Aquest procés de síntesi de l'API està basat en la carboxilació del fenolat sòdic, la precipitació de la sal sòdica d'àcid salicílic obtinguda de la carboxilació i de la esterificació d'aquest àcid salicílic.

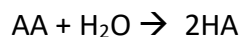
Les reaccions que tenen lloc durant el procés de producció són les següents:



Cal dir que, per a l'última reacció, la qual correspon a l'esterificació de l'àcid salicílic per a l'obtenció de l'àcid d'acetilsalicílic, es dona una reacció paral·lela (paràsit) a aquesta principal. Aquestes és:



Llavors, el que la reacció parasita fa es fer reaccionar l'àcid acetilsalicílic amb anhidre acètic i obtenir-la així en forma d'anhidre. Per tal de revertir aquest fet s'addiciona certa quantitat d'aigua per a que es donin les reaccions següents (reaccions amb constant cinètiques molt elevades):



S'obté una quantitat semblant d'àcid acetilsalicílic i d'àcid acètic degut a la sèrie de reaccions que s'han mencionat anteriorment, com es pot veure s'obté àcid acètic en totes elles.

(Nomenclatura $\rightarrow$ SA: Àcid salicílic / AA: Anhidre acètic / ASA: Àcid acetilsalicílic / HA: Àcid acètic / ASAA: Àcid acetilsalicílic de forma anhidra)

1.3.1. Diagrama de blocs

En aquest apartat es presenta el diagrama de blocs (Figura 1.3.2) del procés dissenyat. Més endavant, en el subapartat 1.3.3. es troba detallada al màxim el procés descrit per si es desitja aprofundir més en el tema. Llavors, fent una visió global s'observa:

1. Preparació de la sòdica del fenol i, posterior eliminació de l'aigua present.
2. Reacció de carboxilació i, posterior dilució de la sal sòdica del salicílic obtinguda
3. Precipitació del àcid salicílic
4. Cristal·lització del àcid salicílic
5. Reacció d'esterificació
6. Cristal·lització del àcid acetilsalicílic i acondicionat del mateix

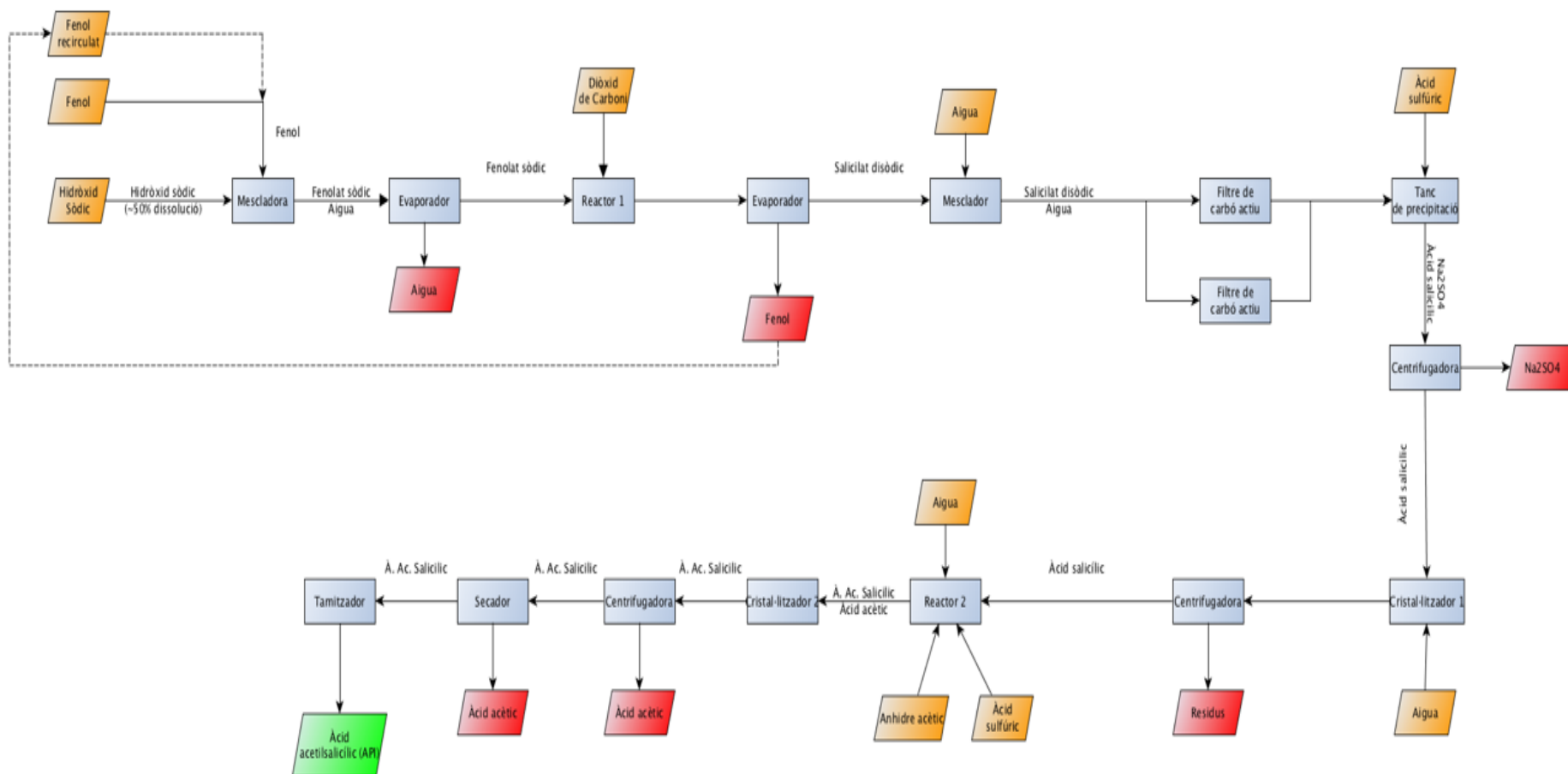


Figura 1.3.1: Diagrama de bloc del procés de la planta SALICACEA

1.3.2. Diagrama de procés

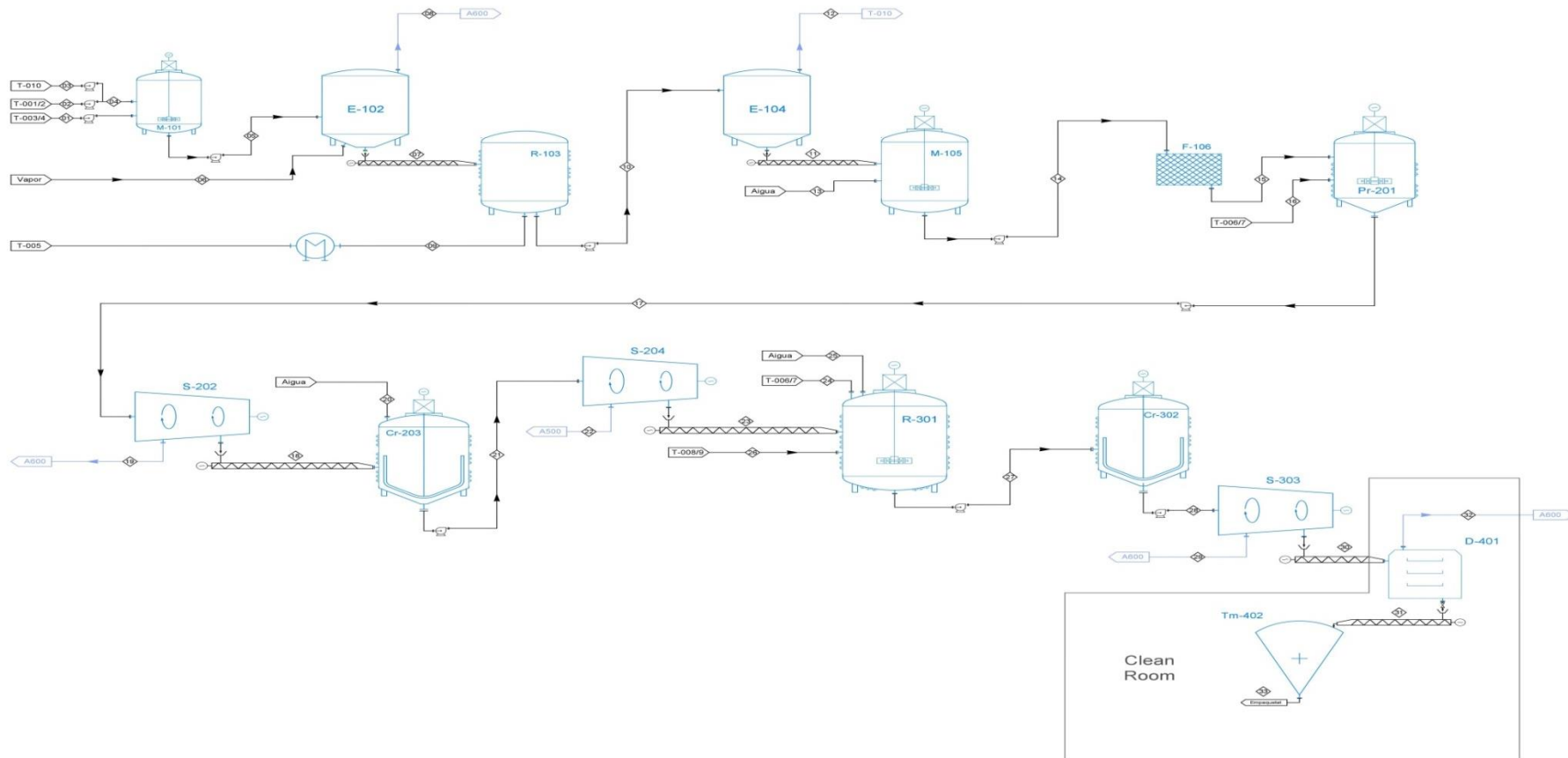


Figura 1.3.2: Diagrama de procés de la planta SALICACEA

1.3.3. Descripció detallada

El procés industrial que s'explicarà, seguidament, presenta dues parts clarament diferenciades i aquestes són les següents:

1. Síntesis de l'àcid salicílic
2. Síntesis de l'àcid acetilsalicílic

Per tal de poder sintetitzar el producte d'interès, àcid acetilsalicílic, s'utilitza un nombre bastant elevat de substàncies, aquest fet es deu a que la matèria primera utilitzada per sintetitzar-la, l'àcid salicílic, no es compra si no que, també, s'ha de sintetitzar. Aquest es el motiu pel qual resulta un procés un tant extens.

El procés de producció de l'API àcid acetilsalicílic s'inicia amb els reactius hidròxid de sodi amb una concentració al 50% i fenol. Aquests reactius es troben calefactats degut a que presenten un punt de congelació elevat, i, per tant, a temperatura ambient es troben en forma sòlida. L'hidròxid de sodi, per tant, es trobarà en forma de solució aquosa, i, el fenol resultarà ser una mescla de fenol nou (es a dir, fenol comprat) i fenol recirculat (aquest s'obindrà en l'equip E-104, tal i com s'explicarà més endavant). La proporció del fenol és de 60%-40%, respectivament. D'aquesta forma s'aconsegueix estalviar, no només en matèria primera, si no que també s'estalvia la gestió d'un possible residu més. Aquesta mescla de fenol es barreja en canonada.

El primer equip de la cadena de producció es la mescladora M-101, aquesta es carrega amb els reactius esmentats anteriorment, i es produeix la sal del reactiu orgànic. En altres paraules, té lloc la formació de la sal sòdica del fenol, coneguda amb el nom fenolat sòdic, i, a més d'aquest producte, hi ha generació d'aigua. Degut a aquest fenomen, el fenolat sòdic el qual es una substància bastant soluble en l'aigua, es troba dissolta en aquest medi.

El següent pas, correspon a eliminar aquesta aigua formada anteriorment, cal dir que l'aigua que s'eliminarà no serà únicament l'aigua que es forma durant la creació de la sal orgànica si no que, també, s'ha d'eliminar l'aigua que s'aporta al sistema per part de la solució d'hidròxid de sodi. Per tal d'aconseguir aquest objectiu s'introdueix la massa obtinguda del M-101 en l'evaporador E-102.

L'evaporador esmentat, es un bescanviador classificat com a bescanviador de contacte directe, es a dir, per tal d'esclafar la massa de fluid i així eliminar l'aigua no desitjada es produeix un contacte directe entre el vapor d'aigua i el líquid. Llavors, en aquest bescanviador la transferència de calor es dona per el contacte íntim entre els dos fluids i, per tant, el fluid més calent (vapor d'aigua) cedeix directament la seva calor al més fred (fenolat sòdic en aigua). Aquest vapor entra a l'equip a una temperatura al voltant dels 110 °C i a pressió atmosfèrica.

Donat que s'imposa que el rendiment d'aquest equip sigui elevat el producte resultant, fenolat sòdic amb una presència baixa d'humitat, surt en forma sòlida i es transportat per un cargol bis sens fi fins el següent aparell, el reactor.

Resulta molt important que es minimitzi la presència d'aigua degut a que aquesta resulta inhibidora per a la reacció que té lloc en el primer reactor (R-103). Aquesta reacció es la carboxilació del fenolat sòdic, d'aquesta transformació química s'obté la sal sòdica del àcid salicílic (salicilat disòdic) i fenol. Per tal de que aquesta reacció tingui lloc es requereix que en el reactor es trobi en condicions òptimes, les quals són una temperatura de 160°C i una pressió de 5 atmosferes, a més de deixar-ho el tamps necessari d'operació (al voltant de 10 hores).

El diòxid de carboni es fa entrar per la part de sota del reactor i per un placa difusora. Aquest gas pressuritzat s'introdueix a través del medi de partícules amb certa velocitat fent, llavors, que el sòlid quedi en suspensió i produint, així, la fluïdització del mateix (fa que el sistema es comporti com un fluid) i obtenint una fase més homogènia. D'aquesta manera el diòxid de carboni, no únicament compleix la funció de reactiu si no que a més permet que el sistema es trobi agitat, i, per tant, que hi hagi la mateixa conversió en tots els punts del reactor.

Altres dades a ressaltar d'aquest reactor R-103, es que s'esclafa amb al mateix diòxid de carboni i, donat que es tracta d'un dels reactius la pressió del reactor anirà disminuint a mesura que aquest reaccioni, i, per tal de mantenir aquesta variable a un valor constant s'introdueix un gas inert, aquest es tracta del nitrogen.

Un cop ha transcorregut el temps d'operació necessari es requereix separar el salicilat del subproducte, el fenol. Aquest últim es torna a introduir a l'inici del procés, concretament a la mescladora M-101. Per tal d'aconseguir aquesta separació s'introdueix la mescla dintre d'un altre evaporador (E-104), però, a diferència de l'anterior (E-102) no es tipus contacte directe, si no que disposa d'una mitja canya que l'envolta i s'encarrega de que la temperatura del mateix sigui elevada a 181 °C, que es la temperatura a la qual bull el fenol. Un cop s'evapora la substància d'interès de la mescla, la sal sòdica del salicílic segueix la via principal de producció, i, es transportada a través d'un cargol bis sens fi fins a un segon mesclador, el mesclador M-105.

El fenol evaporat resulta un producte d'interès per al procés, i, per tant, aquest s'ha de recuperar. Per tal d'aconseguir dit objectiu el vapor que surt del evaporador E-104 es vehiculat a una altre bescanviador, concretament, a un condensador per tal de que el fenol passi de la seva forma gas a la líquida. Per tal de dur a terme la condensació, només cal baixar 5 °C per sota del punt d'ebullició, per tant, el condensador treballa a una temperatura al voltant dels 175 °C. No cal baixar més la temperatura perquè no resulta d'interès, donat que si es guarda el fenol líquid suficientment calent no caldrà que sigui escalfat en tanc d'emmagatzematge, conseqüentment hi ha un estalvi energètic, tant per la banda del evaporador com del tanc.

El salicilat sòdic introduït en la mescladora M-105, se li afegeix una corrent d'aigua la qual es troba a temperatura ambient. L'aigua que s'afegeix es aquella que fa que la sal es dissolgui de forma completa. Es realitza aquesta dissolució per tal de fer-la passar a través d'un llit replet de carbó actiu. Es disposen de dos llits per tal de que quan un es trobi saturat pugui funcionar l'altre, i, així, no interrompre el cicle de producció.

La finalitat de fer passar la solució a través d'aquest filtre es eliminar el possible color que hagi pogut adquirir la mateixa en les etapes anteriors, per exemple, el fenol pren un color groguenc que pot tancar la solució. Aquest procés de blanqueig es molt típic en les indústries farmacèutiques, ja que es la forma en la qual presenten els productes. D'aquesta forma els productes prenen un aspecte més estètic.

Per tal d'obtenir finalment el que serà la matèria prima utilitzada per la síntesi de l'àcid acetilsalicílic, cal transformar la sal sòdica obtinguda en els equips anteriors en la seva forma àcida. D'aquesta manera s'aconsegueix, finalment, l'àcid salicílic.

Per tal de dur a terme aquesta transformació es fa reaccionar la sal sòdica del salicílic amb àcid sulfúric, la concentració d'aquest àcid inorgànic serà del 60% en massa. D'aquesta forma els dos grups sodis que conté passen a formar part del ió sulfat, donant lloc, així, a una altre sal coneguda amb el nom sulfat de sodi (aquesta sal, però, s'obté dissolta en medi aquós). I els dos ions hidrons passen a formar unió amb el grup salicilat, obtenint finalment la matèria desitjada, es a dir, àcid salicílic.

La reacció química que té lloc es una reacció coneguda amb el nom de reacció de precipitació, aquest tipus de reaccions són reaccions ràpides, donat que en quant una gota del reactiu àcid fort, el àcid sulfúric, cau en la dissolució es forma de manera automàtica el precipitat. Degut a que es una reacció ràpida es considera un temps d'operació curt (només d'una hora).

Cal dir que la dissolució de salicilat sòdic que surt de la mescladora M-105, passa de forma contínua pel filtre de carbó actiu F-106, llavors, en quant surt de la mescladora carrega automàticament el precipitador Pr-201 a la vegada que passa per aquest filtre. Quan ja gairebé s'ha carregat l'equip de precipitació amb la dissolució de sal aquosa, es comença a addicionar l'àcid sulfúric de forma controlada. Es procedeix d'aquesta forma degut a que es recomana, per seguretat, que els àcids i bases fortes siguin els últims es ser addicionats.

Mentre es produeix aquesta càrrega de reactius, es posa en marxa l'agitador. Es decideix ficar aquest agitador perquè d'aquesta forma a mesura que es va omplint l'equip amb els reactius s'afavoreix el contacte entre els mateixos (l'agitació es suau, lenta!). Un cop s'acaba d'addicionar tot el sulfúric necessari es para aquesta agitació per a que el sòlid d'interès pugui precipitar (si continua havent-hi un règim turbulent dintre del Pr-201 no s'obtindrà la formació correcta del sòlid).

L'equip Pr-201 es troba encamisat per tal de mantenir la temperatura als 31 °C donat que la reacció es exotèrmica i, per tant, allibera bastanta energia en forma de calor. Cal recordar que si la temperatura es massa elevada es deixa d'afavorir la reacció, i, per tant, es possible que el producte no precipiti de forma adequada.

Un cop s'obté el àcid salicílic, el següent pas es separar-lo de la resta de components que no resulten desitjats. Aquesta separació es tipus sòlid-líquid, on el sòlid es l'àcid salicílic (precipitat) i el líquid es el medi aquos, la sal sulfat es molt solubles en aigua i per tant es troba dissolta en la mateix, mentre que el salicílic té una solubilitat no gaire bona en aquest medi. Es recorda que l'aigua present ve arrel de la solució de sulfúric i de la que s'afegeix a la mescladora M-105 per tal de dissoldre la sal sòdica del salicílic.

L'equip utilitzat per aquesta separació sòlid-líquid es una centrífuga (S-202). Aquesta centrífuga treballa de forma continua i separa per una banda el salicílic, el qual continua la via de producció principal, de la solució aquosa del sulfat sòdic, el qual anirà a parar a l'àrea 600. En aquesta àrea s'emmagatzemen i es tracten alguns dels residus que han siguts generats en la planta SALICACEA.

Donat que la centrífuga S-202 treballa de forma continua a la vegada que separa les dues fases va carregant el següent equip (Cr-203).

En la formació de l'àcid salicílic es produeix, també, isòmers d'aquest compost. Bàsicament l'isòmer que té lloc es el *para*, ja que de *meta* es pot considerar que no es genera res. Cal dir que la formació d'aquest es petita (al voltant d'1%), però, encara hi així es disposa d'un equip que s'encarrega d'eliminar-la, ja que el producte final ha de tindre un grau farmacèutic, la qual cosa vol dir que el producte final obtingut ha de ser del 99,9%, per tant, no hi ha gairebé marge per a possibles impureses.

Dit això, per eliminar aquest isòmer es fa un cristal·lització que té lloc a l'equip Cr-203. S'opta per aquest mètode degut a que l'isòmer para es tres vegades més soluble en l'aigua que el àcid salicílic. Llavors, es procedeix de la següent manera: Es càrrega amb la fase que es separa en la centrífuga S-202 i amb aigua, s'agita de forma suau per tal de tindre una fase homogènia, i, a continuació, aquesta s'atura i es refreda fins al voltant del 17 °C.

Finalment, s'obindrà el àcid salicílic en forma cristal·lina i l'isòmer d'aquest compost en el medi aquós. Llavors, al igual que passava anteriorment s'obté un líquid (solució de l'isòmer) i un sòlid (cristalls del àcid). Per tal de dur a terme aquesta separació s'opta per utilitzar de nou una centrífuga (S-204). Aquesta al igual que la S-202 treballa de forma continua, per tant, a mida que va separant les dues fases anirà carregant el següent equip (R-301).

La fase que no resulta de desig, es a dir, la fase líquida es enviada a l'àrea d'emmagatzematge dels residus obtinguts a SALICACEA, o sigui, a l'àrea 600.

A partir d'aquest punt iniciaria la segona part del procés que, com s'ha comentat anteriorment, correspon a la síntesi final de l'àcid acetilsalicílic i del seu posterior acondicionament. Aquesta segona part resulta bastant més senzilla que no pas la primera part explicada en les anteriors planes.

Ara que s'obté l'àcid salicílic pràcticament lliure d'impureses i d'aigua (la qual ha sigut eliminada en la centrífuga S-204) es pot dur a terme, finalment, la reacció que permetrà la síntesi de l'àcid acetilsalicílic. Aquesta reacció d'acetilació té lloc al segon reactor que es té en la planta SALICACEA, o sigui, al reactor R-301.

L'equip R-301 es tracta d'un reactor clàssic aquest es el discontinu de tanc agitat, aquest treballa a una temperatura de 90°C i a una pressió de 1 atmosfera. L'altre reactiu que fa possible que l'àcid salicílic es transformi en àcid acetilsalicílic i, per tant, l'anhidre acètic és l'encarregat de proporcionar el grup acetil ($-\text{COCH}_3$)

Tal i com s'ha mencionat al principi d'aquest *apartat 1.3: Descripció del procés de fabricació* durant aquesta reacció tenen lloc altres reaccions paràsites que el que fan es que tingui lloc la formació d'àcid acetilsalicílic en forma anhidrida, llavors, per tal de revertir aquesta reacció paràsita i que només s'obtingui àcid acetilsalicílic en la forma d'interès s'afegeix una quantitat relativament petita d'aigua (1 m^3 aproximadament). Aquesta aigua es addicionada cap al final del temps de reacció (aquest temps es de 5 hores) i no en l'inici del mateix.

D'aquesta reacció s'obté, a part de l'àcid acetilsalicílic, àcid acètic. Llavors els passos finals del procés de producció es destinen al separar el compost d'interès d'aquest àcid acètic.

El primer pas de purificació del producte d'interès es una cristal·lització, donat que no hi ha expressió més pura d'un compost que en la seva forma cristal·lina. Aquest canvi físic del producte final té lloc en l'equip Cr-302.

La cristal·lització es duu a terme en el mateix àcid acètic obtingut en el reactor R-301 donat que l'àcid acetilsalicílic es insoluble en el mateix, i, per tant, quan es realitzi el refredament de la solució es formaran cristalls del producte d'interès i no es perdrà gaire en el medi líquid. El salt tèrmic que es dona en aquest equip es elevat donat que la solució obtinguda del R-301 es troba a 90°C i s'ha de baixar fins els 20 °C, llavors, per tal d'aconseguir un salt tèrmic tan gran no basta amb l'aigua de refrigeració proporcionada per la torre si no que, també, s'ha d'utilitzar aigua més freda, aquesta provindrà de un equip de servei anomenat *chiller*.

Llavors, el que es fa es passar aigua de torre de refrigeració per baixar dels 90°C als 30°C i, per baixar d'aquests 30°C fins els 20°C es fa passar per la camisa aigua provinent del *chiller*, aquesta entra a una temperatura al voltant dels 15 °C.

Un cop s'obtenen els cristalls d'àcid acetilsalicílic es necessari que es separin del medi líquid el qual està compost per àcid acètic. Per tal d'aconseguir aquesta separació sòlid-líquid s'empra, un cop més, una centrifuga (S-303).

A partir d'aquí el procés té lloc en una àrea especial, concretament a l'àrea 400. Aquesta es tracta d'una àrea amb ambient controlat, llavors, el procés de producció de l'API finalitza en una Sala Blanca, el disseny d'aquesta sala es troba en el *Capítol 5: Seguretat i Higiene*. Dintre d'aquesta àrea es troben els següents equips: El assecador D-401, el qual s'encarrega de assecar el producte final i, així, obtenir-lo de forma deshidratada i el molí-tamisador Tm-402, aquest té la finalitat de obtindre la granulometria desitjada, en aquest cas que les partícules tinguin una mida de 200-400 micres. Aquest últim equip a la vegada que separar les partícules de mida requerida de la que no la tenen agafa aquestes ultimes i les mol per tornar-les a passar pel tamís.

Un cop obtingut el producte final en les condicions optimes, es procedeix a l'envasat, el qual es du a terme, també, en la Sala Blanca. Aquest consisteix en envasar en bosses de plàstic l'API i, després, tancar-les amb segell tèrmic i col·locar-les en les barrils de 200 Kg, que es la forma de presentació exigida. Els barrils d'API es troben en l'àrea 500.

1.4.CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA

En el *apartat 1.1.3: Localització de la planta*, la planta de producció d'àcid acetilsalicílic està projectada sobre una parcel·la de 53.235 m². La distribució de la planta comprendrà tots els elements de la instal·lació, ja sigui industrials o els auxiliars necessaris, com a lloc de treball per als empleats. S'ha de tindre en compte els espais necessaris per als moviments de material, emmagatzemament, equips o línies de producció, equips industrials, administració, serveis per al personal, entre d'altres.

Una bona distribució de les diferents àrees permetrà optimitzar totes les activitats realitzades a l'empresa, per tant, al optimitzar el temps de procés es fa un millor aprofitament dels diners de l'empresa.

1.4.1. Distribució per àrees

La planta SALICACEA consta d'onze àrees. Tres àrees dedicades a l'emmagatzemament de matèries primeres, de producte acabat, i de residus. Tres àrees per a la síntesi del producte i una per al acondicionat del producte final que correspondria a la Sala Blanca. Una àrea per al càrrega i descàrrega de matèries. Una àrea destinada per al subministrament de serveis necessaris per a la producció del producte final. Dues zones per a oficines i pàrquing i laboratori i sala de control, respectivament. I per finalitzar una àrea dedicada a l'aigua que abasteix als sistemes contra incendis, es a dir, la bassa contra incendis.

Taula 1.4.1: Àrees de la planta industrial SALICACEA

Zona	Descripció
A-000	Emmagatzematge de matèries primeres
A-100	Primera etapa de procés: Carboxilació
A-200	Segona etapa de procés: Obtenció del àcid salicílic
A-300	Tercera etapa del procés: Obtenció del àcid acetilsalicílic
A-400	Sala blanca: Acondicionat del àcid acetilsalicílic
A-500	Emmagatzematge del producte final (API)
A-600	Tractament i emmagatzemament de residus
A-700	Zona de càrrega i descàrrega
A-800	Zona de subministrament de serveis
A-900	Oficines i pàrquing
A-1000	Laboratori i sala de control
A-1100	Bassa contra incendis

En la figura 1.4.1 es troba esquematitzada la distribució de les diferents àrees que formen la parcel·la de SALICACEA.

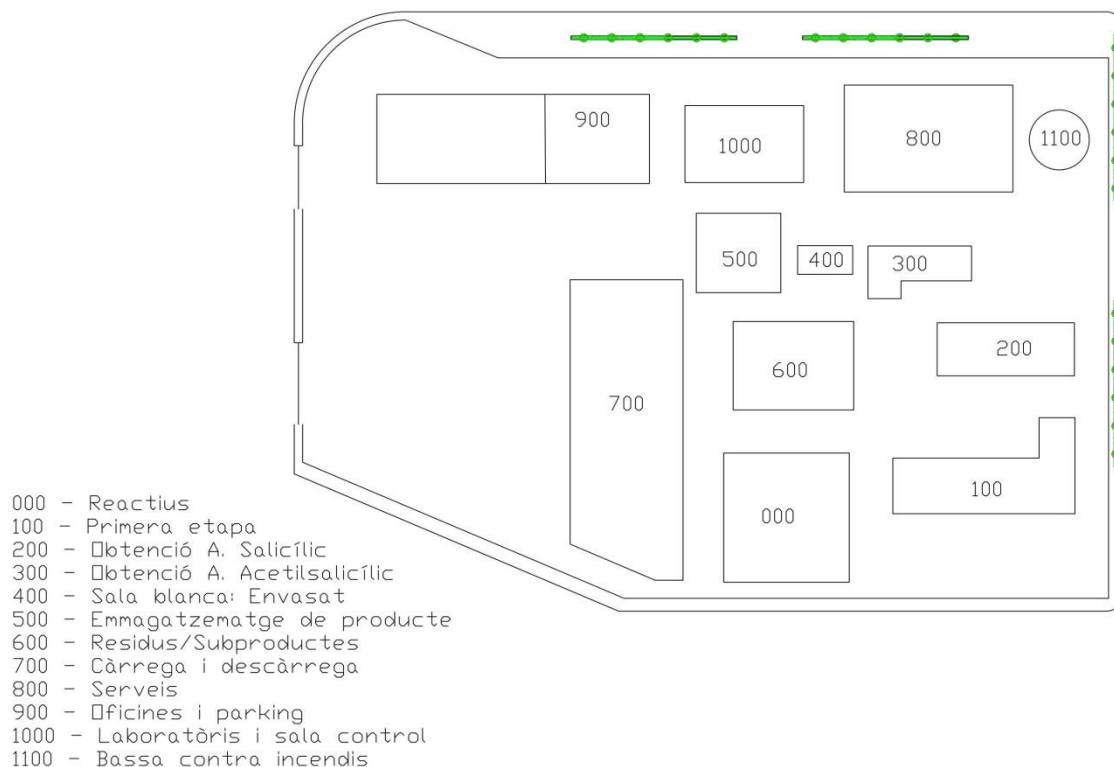


Figura 1.4.1: Distribució de les àrees de la planta industrial SALICACEA

1.4.2. Descripció qualitativa de la planta

ÀREA 000- Emmagatzematge de matèries primeres

En aquest àrea s'emmagatzema les matèries primeres empleades en el procés, es a dir, es troben els tancs de fenol, hidròxid de sodi, àcid sulfúric, anhidre acètic i diòxid de carboni. Tots ells, a excepció del diòxid de carboni, es troben emmagatzemats en dos tancs i el CO₂ es troba emmagatzemat en un tanc criogènic per tal de disminuir l'espai requerit per preservar-lo en bones condicions.

Aquesta àrea d'emmagatzematge està dissenyada per tal de tindre una provisió de reactius suficients per a la realització de tres lots, que equivaldria a tres dies, aproximadament. Per tant, el subministrament es farà cada tres dies.

S'organitzarà per a que la càrrega i descàrrega de matèries primeres no es realitzin el mateix dia per tal d'evitar massa flux de camions en les instal·lacions.

Cal esmentar que tots els treballadors, visitants o clients que estiguin en aquesta zona hauran de gaudir dels EPI's obligatoris establerts al Capítol 5: Seguretat industrial

Aquesta àrea 000 es troba situada al costat del la àrea 700 per tal de facilitar la descàrrega de matèries primeres i es troba a l'aire lliure per tal d'assegurar una bona ventilació.

ÀREA 100- Primera etapa de procés

Aquesta àrea es troba destinada a una part de la primera part del procés de producció d'àcid acetilsalílic. Es a dir, aquesta àrea compren des de la mescladora M-101 fins al filtre de carbó actiu F-106. I es troba a prop de l'àrea 000 per tal de disminuir costos de bombeig i canonades. Llavors, es l'àrea que compren la reacció de carboxilació.

Aquesta zona es troba en una zona coberta per tal de protegir el procés de possibles contaminació, però, també, protegir l'entorn d'aquest mateix. A més aquesta està formada per dos plantes, donat que les sortides dels evaporadors E-102 i E-104 es sòlid i per tal de moure aquest de forma més fàcil la sortida d'aquests es trobaran a la l'altura de les entrades dels següents equips.

ÀREA 200- Segona etapa de procés

Aquesta àrea es troba destinada a l'altre part de la primera part del procés de producció d'àcid acetilsalílic. Es a dir, aquesta àrea compren des de l'equip de precipitació Pr-201 fins a la centrífuga S-204. En aquesta zona es on es produeix l'àcid salílic que s'utilitzarà de matèria primera per a la reacció d'esterificació.

Aquesta zona es troba en una zona coberta per tal de protegir el procés de possibles contaminació, però, també, protegir l'entorn d'aquest mateix. Al igual que la zona 100 aquesta es troba formada per dos pisos i es troba al costat de la zona 100 per tal de facilitar el flux de matèria entre les dues zones.

ÀREA 300- Tercera etapa de procés

Aquesta àrea es troba destinada a la segona part del procés de producció d'àcid acetilsalílic. Es a dir, aquesta àrea compren des de l reactor R-301 fins a la centrífuga S-303. En aquesta zona es on es produeix l'esterificació de l'àcid salílic que dona lloc al producte final.

Aquesta zona es troba en una zona coberta per tal de protegir el procés de possibles contaminació, però, també, protegir l'entorn d'aquest mateix. Al igual que la zona 100 i 200 aquesta es troba formada per dos pisos i es troba al costat de la zona 200 per tal de facilitar el flux de matèria entre les dues zones.

ÀREA 400- Acondicionat del producte final

Tal, i com s'ha mencionat en el *apartat 1.3: Descripció del procés de fabricació* les etapes de procés es duen a terme en un entorn d'ambient controlat per tal de eliminar la possibilitat de contaminacions creuades. Per tant, l'àrea 400 correspon a la Sala Blanca, per tal d'obtenir més informació veure el *Capítol 5: Seguretat i Higiene*.

Es troba al costat de la zona 200 per tal de facilitar el flux de matèria entre les dues zones, i per descomptat, es una àrea totalment tancada.

ÀREA 500- Emmagatzematge del producte final

En aquesta àrea es troben emmagatzemats tots els barrils d'API d'àcid acetilsalicílic. Aquests barrils són de 200 Kg cada un. Aquesta àrea es troba entre la zona 400, zona en la qual s'obté el producte final, i l'àrea 700, la qual correspon a la zona de càrrega i descarrega de la planta. D'aquesta forma es facilita la càrrega en les camions del producte final.

ÀREA 600- Tractament i emmagatzematge de residus

En aquest àrea s'emmagatzema diferents residu obtinguts del procés, es a dir, es troben els tancs d'àcid acètic, de sulfat de sodi en solució aquosa i del isòmer. Tots ells, es troben emmagatzemats en tancs atmosfèrics.

Aquesta àrea d'emmagatzematge està dissenyada per tal de tindre un volum de residus de tres lots, que equivaldria a tres dies, aproximadament.

S'organitzarà per a que la càrrega i descàrrega d'aquestes substàncies no es realitzin el mateix dia que la de les matèries primeres per tal d'evitar massa flux de camions en les instal·lacions.

Cal esmentar que tots els treballadors, visitants o clients que estiguin en aquesta zona hauran de gaudir dels EPI's obligatoris establerts al Capítol 5: Seguretat industrial

Aquesta àrea 000 es troba situada al costat del la àrea 700 per tal de facilitar la càrrega de residus i es troba a l'aire lliure per tal d'assegurar una bona ventilació, però, amb una coberta per tal de protegir de les condicions ambientals a l'equip de tractament que es troba en aquesta àrea. Aquest es tracta d'una osmosi inversa per tal de concentrar la sal de sulfat de sodio, d'aquesta forma resulta més fàcil la seva gestió.

ÀREA 700- Càrrega i descàrrega

En aquesta zona de la planta es troba la càrrega i descàrrega dels tancs d'emmagatzematge, tant de matèries primeres com de reactius, i dels barrils de l'API d'àcid acetilsalílic.

Llavors, aquesta àrea es troba destinada a l'arribada de camions per descarregar les matèries primeres i els camions per emportar-se bé el producte final, o bé, els residus generats en la planta SALICACEA.

Per tal de facilitar el flux d'aquestes matèries l'àrea 700 es troba al costat de les àrees d'emmagatzematge, es a dir, de les àrees 000, 500 i 600

ÀREA 800- Subministrament de serveis

En aquesta àrea es troben tots els serveis auxiliars necessaris per la producció de l'API. A partir d'aquesta àrea es distribueixen els serveis de fluids i energia cap als punts on es precisen. Llavors, en aquest zona es troben la caldera, torre de refrigeració, chiller, dipòsit de nitrogen, entre d'altres.

ÀREA 900- Oficines i pàrquing

En aquesta àrea es troben les oficines (lloc on on es realitzaran les tasques administratives i comercials) i pàrquing, aquestes zones es troben destinades al personal de la planta SALICACEA. A més, també, estarà el departament de qualitat i I+D.

ÀREA 1000- Laboratori i sala de control

En aquesta àrea es troben el laboratori i la sala de control on es gestionarà la producció de la planta. Aquest edifici estarà situat bora de les àrees de producció.

ÀREA 1100-Bassa contra incendis

Aquesta àrea és on es troba la bassa contra incendis definida en el *Capítol 5: Seguretat i higiene*. La finalitat d'aquesta es abastir als equips de protecció contra incendi. Aquesta bassa es trobarà envoltada per una tanca per a que no pugui entrar ningú aliè al personal de la planta SALICACEA.

1.5.BALANÇ DE MATÈRIA

A continuació es presenta la quantitat de matèria que entra hi que surt de cada equip, així com la composició massica de la mateixa, es a dir, es presenten els diferents percentatge en massa (tant per u) de les substancies que conformen aquella massa.

Per tant, l'objectiu d'aquest apartat es mostra els balanços de matèria que s'han dut a terme en la planta de producció industrial d'API d'àcid acetilsalicílic SALICACEA.

Els balanços estan realitzats segons el diagrama de procés que es mostra en la figura 1.3.2 del apartat 1.3: *Descripció del procés de fabricació*.

1.5.1. Consideracions generals

Abans, però, de passar a mostrar les taules on es recull dita informació es vol fer un parell d'apunts:

- En els balanços de matèria no es mostren cabals com a tal perquè es tracta d'un procés discontinues, la forma en la qual aquests es troben expressats es en els Kilograms obtinguts per cada Batch, es a dir, les unitats serien Kg/Batch. I cada Batch que es realitza es de 11 Tn/any.
- El balanç es realitza per quan el temps d'operació de l'equip corresponent ha finalitzat i, no quan la massa circula per les canonades per carregar el següent equip, que es el que pot interpretar degut a la forma en la qual estan posats el números en el diagrama de procés.
- Al final de cada composició hi ha una fila anomenada *sumatori* que indica que la suma de les composicions es igual a 1.
- La informació que trobarà el lector en aquests balanços de matèria serà la següent: Temperatura, pressió, estat, densitat, cabal massic (en referencia als kilograms que se n'obtenen per Batch realitzat) i composició massica.

- Per tal de comprovar que el balanç de matèria s'ha dut a terme de forma correcta es procedeix a verificar que els kilograms que entren en la sortida són els mateixos que hi ha a la sortida del sistema

1.5.2. Presentació del balanç de matèria

Taula 1.5.1: Balanç de matèria de la planta SALICACEA

NÚMERO CORRENT	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temperatura (°C)	18	47	125	78	53	110	115	115	160	160	181
Presió (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1	5	1	1
Estat físic	L	L	L	L	L	G	S	G	G	L i S	S
Densitat (Kg/m3)	1520	1071	1071	1071	928,7	0,6	898	0,6	6,2	454,7	375,0
Massa (Kg/Batch)	10919	8215	5477	13692	24611	1466	16722	9355	2766	19488	13269
FRACCIÓ MÀSSICA											
Fenol	0	1	0,986	0,994	0,0055	0	0,0081	0	0	0,318	0,0047
Hidròxid Sodi	0,5	0	0	0	0,0044	0	0,0065	0	0	0,0056	0,0082
Aigua	0,5	0	0,014	0,0056	0,324	1	0,0048	1	0	0,0041	0
Fenolat sòdic	0	0	0	0	0,676	0	0,994	0	0	0,0939	0,110
Diòxid de carboni	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Salicilat disòdic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,612	0,899
Àcid sulfúric	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Àcid salicílic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4-hidroxibenzoic (para)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-hidroxibenzoic (meta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfat de sodi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anhidre acètic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Àcid acètic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acetilsalicílic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUMATORI (composició)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Taula 1.5.2: Balanç de matèria de la planta SALICACEA

NÚMERO CORRENT	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Temperatura (°C)	181	12	44	44	12	31	31	31	12	17
Presió (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estat físic	G	L	L	L	L	S i L	S	L	L	S i L
Densitat (Kg/m3)	2,5	1000	519	519	1450	1345	1436	1313	1000	1227
Massa (Kg/Batch)	6219	11933	25202	25202	9245	34447	9039	25885	5550	14589
FRACCIÓ MÀSSICA										
Fenol	0,987	0	0,0025	0,0025	0	0,0018	0	0,0024	0	0
Hidròxid Sodi	0	0	0,0043	0,0043	0	0,0032	0	0,0042	0	0
Aigua	0,013	1	0,473	0,473	0,4	0,431	0,0164	0,568	1	0,391
Fenolat sòdic	0	0	0,0726	0,0726	0	0,0531	0	0,0707	0	0
Diòxid de carboni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salicilat disòdic	0	0	0,473	0,473	0	0,0035	0	0,0046	0	0
Àcid sulfúric	0	0	0	0	0,6	0,0016	0	0,0021	0	0
Àcid salicílic	0	0	0	0	0	0,257	0,971	0,0034	0	0,602
4-hidroxibenzoic (para)	0	0	0	0	0	0,001	0,0049	0,0000	0	0,003
3-hidroxibenzoic (meta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfat de sodi	0	0	0	0	0	0,266	0,010	0,350	0	0,0063
Anhidre acètic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Àcid acètic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Acetilsalicílic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SUMATORI (composició)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Taula 1.5.3: Balanç de matèria de la planta SALICACEA

NÚMERO CORRENT	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Temperatura (°C)	16	16	12	12	12	90	20	18	18	50	50	25
Presió (atm)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Estat físic	L	S	L	L	L	L	L i S	L	S	L	G	S
Densitat (Kg/m ³)	995	1440	1450	1000	1080	1210	1210	1050	1340	1440	1050	1440
Massa (Kg/Batch)	5864	8748	2	1200	11605	21556	21556	5204	16243	11044	5028	11044
FRACCIÓ MÀSSICA												
Fenol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Hidroxid Sodi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aigua	0,962	0,0065	0,4	1	0	0,006	0,006	0,0249	0	0	0	0
Fenolat sòdic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Diòxid de carboni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Salicilat disòdic	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Àcid sulfúric	0	0	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Àcid salicílic	0,015	0,993	0	0	0	0,006	0,006	0,0231	0	0	0	0
4-hidroxibenzoic (para)	0,007	0,0001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3-hidroxibenzoic (meta)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sulfat de sodi	0,0156	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Anhidre acètic	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Àcid acètic	0	0	0	0	0	0,460	0,461	0,954	0,306	0,001	0,978	0,001
Acetilsalicílic	0	0	0	0	0	0,518	0,518	0,0107	0,684	0,999	0,022	0,999
SUMATORI (composició)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

1.5.3. Comprovació del balanç de matèria

Tal i com s'ha esmentat a l'inici d'aquest subapartat per tal de comprovar que els balanços s'han dut a terme de forma correcta es verifica que els kilograms que entren són iguals als que surten. Llavors, es realitza el que es coneix amb el nom de balanç global.

ENTRADES AL SISTEMA

Taula 1.5.4: Entrades de matèria al procés productiu

Corrents d'entrada	
Numero de corrent	Kg/Batch
1	10919
4	13692
6	1466
9	2766
13	11933
16	9245
20	5550
24	2
25	1200
26	11605
Sumatori	68378

SORIDES DEL SISTEMA

Taula 1.5.5: Sortides de matèria al procés productiu

Corrents d'entrada	
Numero de corrent	Kg/Batch
8	9355
12	6219
19	25855
22	5864
29	5204
32	5028
33	11044
Sumatori	68569

Un cop realitzat el balanç global surt que hi ha una diferència de 190 Kg/Batch que no resulta un diferència significativa, ja que si es realitza el percentatge de diferència entre un valor i un altre s'obté que aquesta pren el baix valor de 0,27 %.

Diferència entre entrada i sortida →0,27 %

Dit això es dona com satisfactori el balanç realitzat. Les diferències existents entre aquests valor podria ser qüestions numèriques.

1.6.SERVEIS A LA PLANTA SALICACEA

Tal i com s'ha pogut veure en l'*apartat 1.3: Descripció del procés de fabricació* per a la producció de l'API d'àcid acetilsalicílic es requereixen d'unes substàncies diferents a les matèries primeres però igual d'importants i essencials. Aquestes fluids auxiliars són els que es coneixen amb el nom de serveis.

Els serveis de planta representen un dels costos més importants d'operació de la planta industrial i donat que són igual d'importants que les matèries per al procés de producció, aquests han de ser fiables (es a dir, assegurar-se de que no es quedarà el procés sense subministrament de serveis), de qualitat constant (assegurar que els serveis són proporcionats sempre en les mateixes condicions) i estar disponible en excés (es sobredimensiona l'equip de serveis per tal de tindre la certesa de que quedaran cobertes totes les necessitats de procés).

Dit això, els serveis de planta es poden classificar en dos tipus: Energia i matèria (fluids). Els serveis que fan referència a energies, i, que seran explicats més endavant, se n'obtenen de fora de la planta, es a dir, la font subministradora serà externa. I en quant als fluids aquests es produeixen en la mateixa planta a partir de les energies.

Per exemple, la caldera es un equip que forma part de serveis, però, per a que aquesta funcioni de forma correcta necessita energia, bé elèctrica o bé gas. I l'objectiu d'aquesta es la producció del vapor d'aigua que serà utilitzat com un fluid auxiliar al procés descrit.

1.6.1. Energies

En el *capítol 2: Equips* i en el *capítol 11: Manual de càlculs* es troben les especificacions i necessitats sobre els equips de serveis de energia.

1.6.1.1. Electricitat

L'electricitat, definida com la manifestació de la presència d'un moviment de càrregues elèctriques, es fa servir per a tots aquells equips que les requereixen per tal de poder operar. Però, també, es requerida per a la resta d'instal·lacions com les oficines, sala de control o il·luminació de la planta.

Degut a que aquesta es requereix per a múltiples casos, resulta que es fa un consum elevat de la mateixa. Llavors, per tal de cobrir les necessitats de planta es disposa d'una connexió des de la línia de 20 kV a peu de parcel·la.

També, es gaudirà d'un grup electrogen per tal d'evitar una parada de la producció en cas de fallada d'electricitat. Aquest grup funcionarà amb gas natural i s'encén de forma natural i automàticament en cas de tall elèctric.

Taula 1.6.1: Potència requerida a SALICACEA

Potència de la instal·lació	
Equip	Potència (kW)
Agitació del mesclador M-101	5,40
Agitació del mesclador M-105	7,45
Agitació del precipitador Pr-201	7,65
Motor de la centrífuga S-202	270
Motor de la centrífuga S-204	145
Motor de la centrífuga S-303	242
Agitació del cristal·litzador Cr-203	10,2
Agitació del cristal·litzador Cr-302	21,1
Agitació del reactor R-301	4
<i>Chiller</i>	136,6
Torre de refrigeració	8,05
Bombes	46,7
Total d'equips	904
Oficines, laboratori i sala de control (10% del total d'equips)	90,4
Total	994

Llavors, s'utilitza un transformador que en proporcioni 1000 KW.

1.6.1.2. Gas natural

El gas natural es tracta d'una font d'energia fòssil que esta constituïda per una barreja d'hidrocarburs, a més, aquesta és una energia primària per la qual cosa no es requereix de cap transformació per tal d'obtenir-la.

En la planta SALICACEA s'utilitzarà per al funcionament de les calderes, o sigui la funció d'aquest servei es assegurar que es fa un aport d'energia suficient per alimentar la caldera. A més, també, es utilitza per esclafar l'aigua de la xarxa de les zones d'ús públiques. El subministrament d'aquest tipus de gas es realitza a través d'una xarxa de gas natural.

En la planta de SALICACEA es disposa de gas natural a mitja pressió, concretament, a 1.5 Kg/cm³.

1.6.2. Fluids

En el *capítol 2: Equips* i en el *capítol 11: Manual de càlculs* es troben les especificacions sobre els equips de serveis de energia.

1.6.2.1. Aigua d'incendis

És l'aigua emmagatzemada a la bassa contra incendis (A-1100). L'aigua es trobarà emmagatzemada per a ser utilitzada si fos necessari, en cas de que es produeixi un incendi en alguna zona de la planta. La bassa té una capacitat de 8100 m³ per a poder proporcionar el cabal adient durant el temps necessari segons la normativa.

1.6.2.2. Aigua de refrigeració

L'aigua de refrigeració serà la utilitzada per a refredar els diferents equips del procés. Dins d'aquesta podem diferenciar dos tipus d'aigua de refrigeració. L'aigua de torre de refrigeració i l'aigua de *chiller*.

Una part de l'aigua s'introduirà de nou per suplir les pèrdues per evaporació a la torre de refrigeració. Sense tenir en compte això, la resta del circuit d'aigua de refrigeració és un circuit tancat, sense sortides o entrades.

Tota l'aigua de refrigeració que surt dels diferents equips passarà per la torre de refrigeració. Un cop es refredi aquesta aigua es bifurcarà en dos camins.

Per una banda, aquesta aigua anirà al *chiller* on es refredarà a uns 15°C. Aquesta aigua més freda estarà destinada a la refrigeració dels dos cristal·litzadors, que tenen una temperatura de treball més baixa.

Per l'altra banda, part de l'aigua que surti de la torre de refrigeració anirà directa als equips que no necessitin refrigerar fins a una temperatura tan baixa, com per exemple els reactors.

1.6.2.3. Vapor d'aigua

El vapor d'aigua serà el mitjà utilitzat a tota la planta per a escalfat a elevades temperatures. Aigua de servei s'evaporarà a la caldera per a obtenir un vapor a uns 170°C de temperatura i a uns 8 bars de pressió. D'aquí, es distribueix el vapor per tota la planta fins als diferents equips. El circuit de vapor també es tracta d'un circuit tancat. El vapor amb una temperatura inferior, a causa d'escalfar els equips, tornarà a la caldera on tornarà a escalfar-se a la temperatura i pressió adients. Poden ocasionar-se algunes pèrdues en forma de condensat als filtres i purgues dels trens de condensats.

S'utilitzarà un sistema de mitja canya per a fer passar el vapor al voltant de tots els equips. A més, també s'afegirà un bescanviador de carcassa i tubs per a escalfar CO₂ que també utilitza vapor com a element calefactant.

1.6.2.4. Nitrogen

El nitrogen serà l'utilitzat per a inertitzar els diferents equips que contenguin algun fluid de caràcter inflamable. Durant el buidatge dels tancs amb líquids inflamables, s'introduirà nitrogen per a mantenir l'atmosfera inert i per evitar pressions negatives al tanc. En el cas dels tancs que ho requereixin també s'introduirà nitrogen durant el seu buidatge i per a inertitzar l'equip.

1.7.PROGRAMACIÓ TEMPORAL DE LA PLANTA SALICACEA

Si bé en els anteriors apartats s'ha parlat de la ubicació de la planta, de les diferents substàncies que es tenen a SALICACEA i de les propietats que aquestes presenten, de com s'ha ideat el procés i de quins serveis es requereixen per tal de realitzar-lo. En Aquest subapartat es parlarà de com estaria planificat la construcció de la planta industrial SALICACEA, un cop s'hagués aprovat el projecte presentat.

Per tant, es presenta un model esquemàtic de la planificació temporal del muntatge de la planta de producció d'àcid acetilsalicílic. Abans, però, de poder realitzar aquesta planificació es necessari definir prèviament les feines que s'ha de dur a terme, la duració de les mateixes i l'ordre d'execució.

Aquesta informació sobre el muntatge de la planta es pot visualitzar en la taula 1.7.

Per tal de que la informació de la taula 1.7 sigui compresa de forma més clara es fa una representació gràfica de les diferents feines, es a dir, es presenta el que es coneix com un diagrama de Gantt.

Un avantatge que et proporciona aquesta representació es que marca el camí crític que s'ha de realitzar per tal de complir amb l'objectiu establert, es a dir, marca les feines crítiques (en color vermell) que s'han de complir en el temps establert per tal d'arribar el projecte definit en el mínim temps possible. Les que no siguin crítiques (en color blau) es poden escurçar més o menys sense afectar a la data de terminació del projecte.

Cal dir que, aquest diagrama de Gantt ha sigut dissenyat amb el programa lliure OpenProj.

Segons l'esquema temporal proposat la duració de la construcció del planta SALICACEA es troba al voltant dels 3 anys.

DIAGRAMA DE GANTT DE LA CONTRUCCIÓ DE LA PLANTA			
Número de la tasca	NOM DE LA TASCA	DURADA (MESOS)	PRECEDÈNCIA
1	Enginyeria de detall	4	0:1
2	Obtenció dels permisos d'obres	6	0:2
3	Encàrrec dels equipaments	6	1:3
4	Urbanització		
5	Neteja dels terrenys	2	2:4
6	Escavacions i fonaments	4	5:6
7	Instal·lació de subministraments	1	6:7
8	Vies d'accés i aceres	1	6:8
9	Edificació dels sectors aliens al a producció		
10	Oficines	3	7:10
11	Vestuaris	1	7:11
12	Aparcaments	1	8:12
13	Instal·lació d'equips		
14	Àrea d'emmagatzematge	1	3,7:14
15	Àrea de carboxilació	2	3,7:15
16	Àrea de formació de l'àcid salicílic	2	3,7:16
17	Àrea d'acetilació	2	3,7:17
18	Sala blanca	1	3,7:18
19	Àrea de productes	1	3,7:19
20	Àrea de residus	2	3,7:20
21	Àrea de serveis	2	3,7:21
22	Àrea de laboratoris	1	3,7:22
23	Calibratge d'equips	3	14-22:23
24	Instal·lació de suports, escales, plataformes i baranes	1	14-22:24
25	Canonades		
26	Instal·lació de canonades del procés	2	14-19:26
27	Connexió de canonades procés-equip	1	23,26:27
28	Instal·lació de canonades de serveis	2	20,21,22:28
29	Connexió de canonades serveis-equip	1	23,28:29
30	Instrumentació		
31	Instal·lació de la instrumentació	2	23,26,28:31
32	Connexió instrumentació-equip	1	31:32
33	Aïllament		
34	Aïllament d'equips	1	32:34
35	Aïllament de canonades	1	32:35
36	Finalització		
37	Proves d'equips	1	34,35:36
38	Pintura	1	37:38
39	Neteja	1	38:39

Taula 1.7.1: Feines a realitzar per a la construcció de la planta SALICACEA

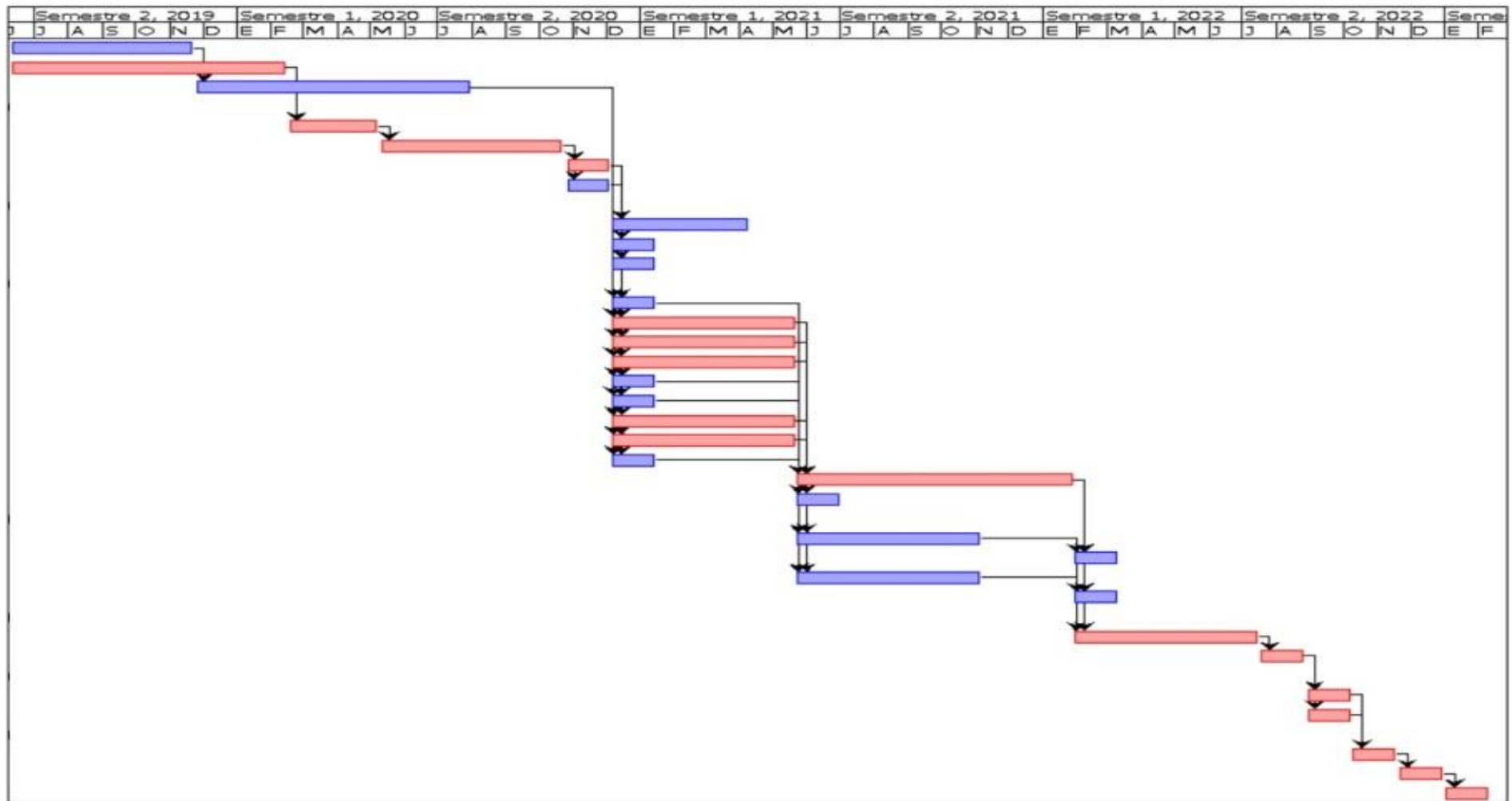


Figura 1.7.1:Diagrama de Gantt de la planta SALICACEA

1.8. PROGRAMACIÓ DEL PROCÉS PRODUCTIU

Tal i com s'ha anat repetint al llarg d'aquest capítol 1, sobre especificacions del projecte realitzat, el procés de producció del API d'àcid acetilsalicílic es tracta d'un procés que es dona per lots o Batch, per tant, vol dir que la producció no s'obté de forma continua, la qual cosa implica que el procés es doni de forma discontinua.

Al apartat 1.7: *Programació temporal de la planta SALICACEA* s'ha establert que el temps de construcció rondaran els, gairebé, els tres anys. I, un més després, aproximadament, d'haver-hi finalitzat la construcció de la planta dissenyada es realitzaria la posada en marxa. És important que abans d'iniciar amb el procés dissenyat es realitzi una prova hidràulica, es adir, en comptes de fer circular el reactiu, que més tard, sintetitzaran el producte final es fa passar aigua per tal d'assegurar que la planta es trobi en condicions òptimes.

Es a dir, que les canonades estiguin ben connectades i/o soldades per tal d'evitar fugues que puguin originar accidents, que no hi ha fuites en cap equip, que les bombes han sigut muntades de forma correcta, entre d'altres activitats.

Els temps de cada tasques han sigut establerts segons les patents (les quals es troben en la bibliografia) i segons un pensament crític.

Un Batch té una durada de 36 hores i 40 minuts, llavors, no es podria arribar a realitzar la demanda necessari de producte que són de ser com a mínim 10 Tn/dia (donat que són 3000 Tn/any i 300 dies operatius de treball). Llavors, la forma en la qual s'ha pensat per tal d'arribar a la meta productiva ha sigut el solapament de processos, de forma que quant termines de treballar el primer reactor, el de carboxilació, s'inicia altre batch. Com es pot veure aquest equip (R-301) es tracta del pas limitant de tot el procés.

D'aquesta forma en dos dies es fan dos lots en tres dies es fan tres i, així successivament. Per tant, s'estan cobrint les necessitats de producció.

Taula 1.8.1: Duració de cada equip

Equip	Total (min)	Total (h)
M-101	45	0,75
E-102	110	2,00
R-103	620	10,33
E-104	110	1,83
M-105	25	0,42
F-106	15	0,25
Pr-201	45	0,75
S-202	60	1,00
Cr-203	230	3,83
S-204	60	1,00
R-301	320	5,33
Cr-302	230	3,83
S-303	120	1,00
D-401	170	2,83
Tm-402	40	0,67
Total (min)	2200	
Total (h)	36,7	

A continuació es mostren els gràfics de la programació en quant al disseny del procés d'un únic lot (Figura 1.8.1) i de quan hi ha solapaments en la producció (Figura 1.8.2).

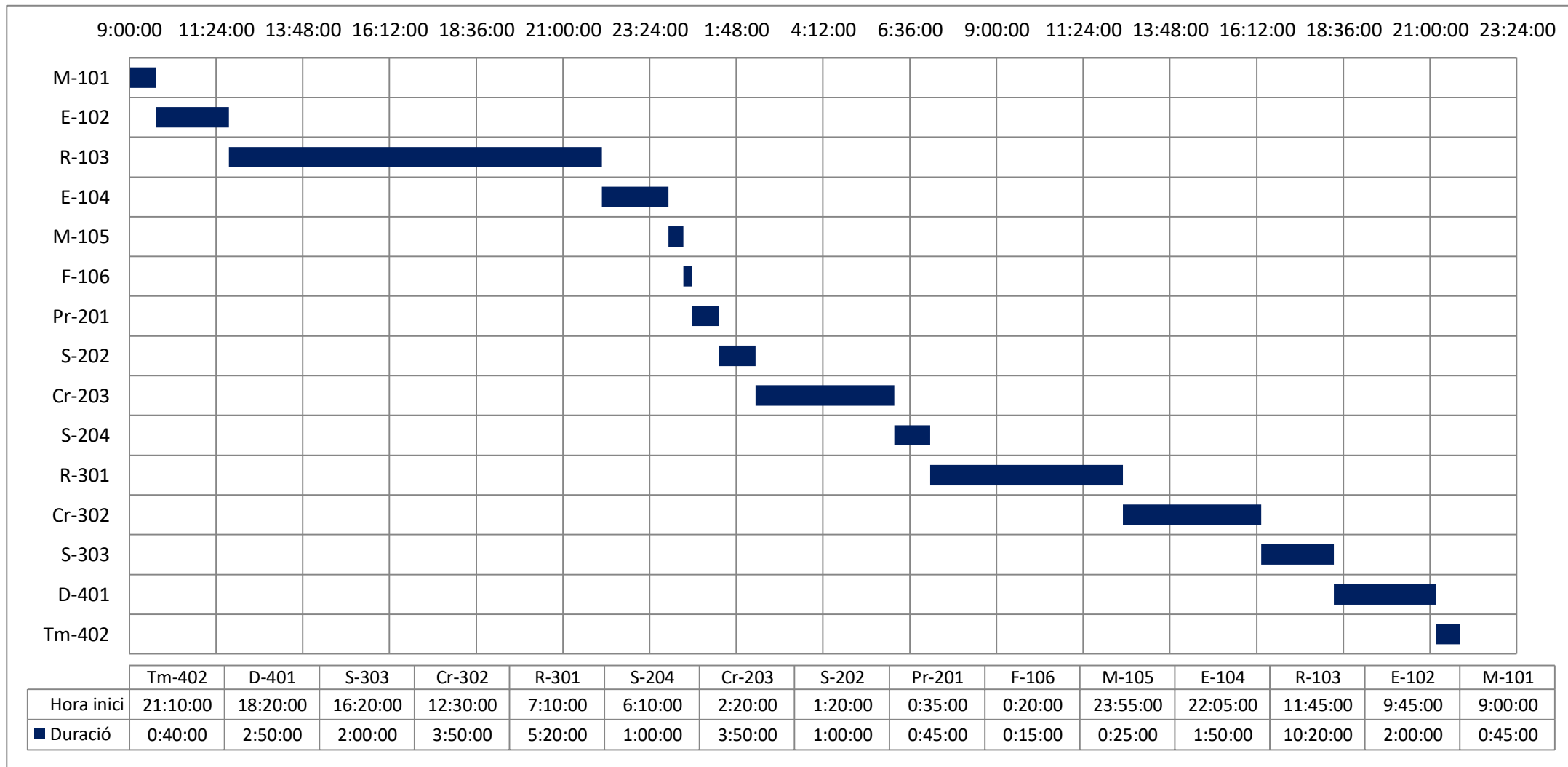


Figura 1.8.1: Programació temporal del procés si només es produeix un Batch

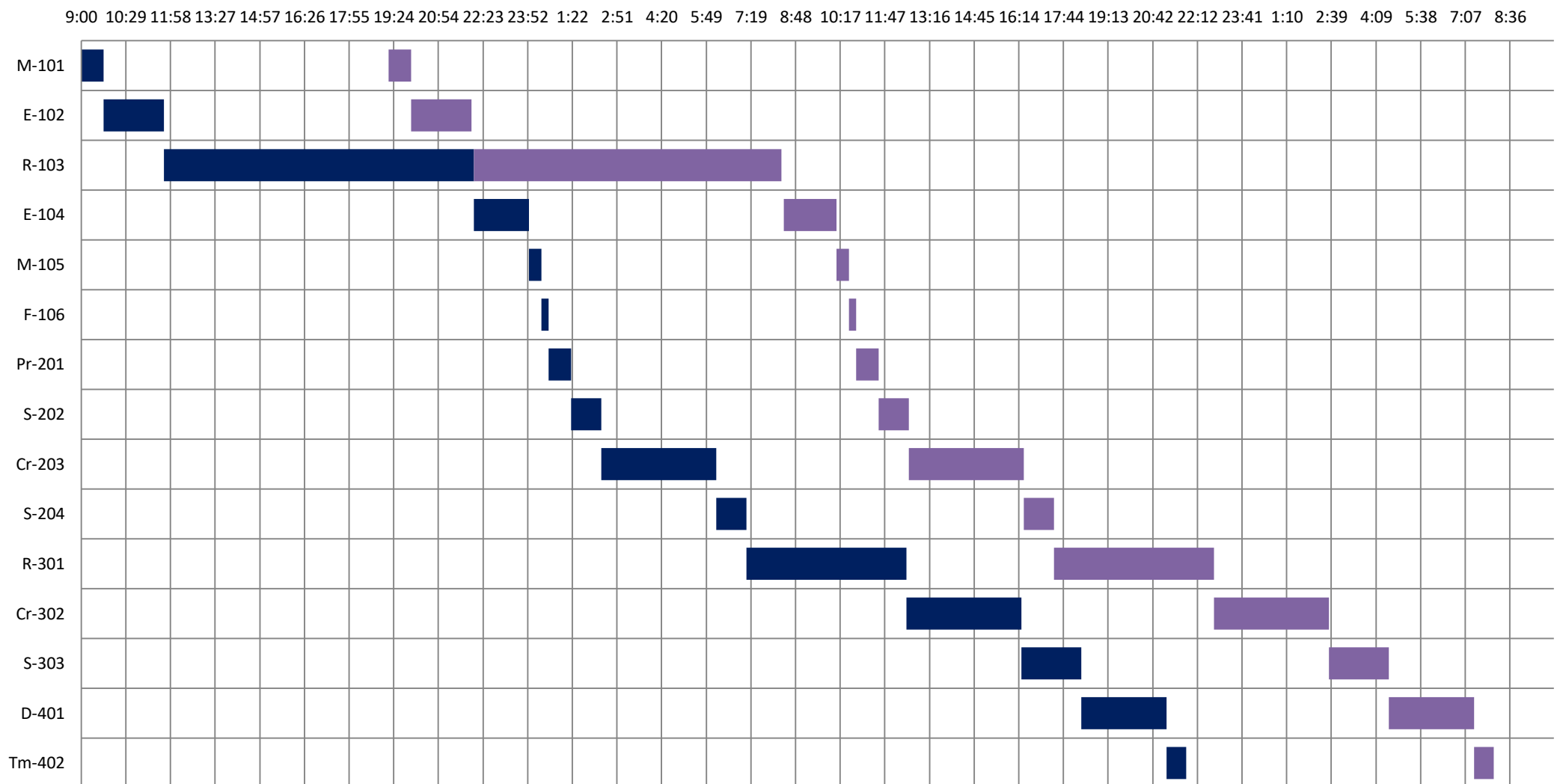


Figura 1.8.2: Solapament de processos

1.9.BIBLIOGRAFIA

[1] D. Joiner, J.Billeter, M. McNally, R. Hoffman, J.Gerperline. *Comprehensive kinetic model for the dissolution, reaction and crystallization processes involved in the synthesis of aspirin*. John Wiley & Sons, 2014.

[2] I.Stanescu, L. Achenie, *A theoretical study of solvent effects on Kolbe–Schmitt reaction kinetics* Department of Chemical Engineering, University of Connecticut.Estats units d'Amèrica, 2006.

[3] O.Boullard, H. Leblanc, B.Besson, *Salicylic Acid*, Rhône-Poulenc Chimie S.A., França.

[4] ¿ Qué es un API en farmacèutica? *RGT Consultores Internacionales*.

<https://rgtconsultores.mx/blog/2017/12/1/que-es-un-api-en-farmaceutica>

[5] Aspectos biofarmaceuticos del ácido acetilsalicílico, *Virginia Santos Alonso*.

<http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/VIRGINIA%20SANTOS%20ALONSO.pdf>

[6] Ficha de datos de Seguridad, *ROTH*.

https://www.carlroth.com/downloads/sdb/es/3/SDB_3215_ES_ES.pdf

[7] Ficha de datos de Seguridad, *QUIMIPUR*.

<http://quimipur.com/pdf/sodio-hidroxido-50-rev-5.pdf>

[8] Ficha de datos de Seguridad, *INSST*

<https://www.insst.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/FISQ/Ficheros/0a100/nspn0021.pdf>

[9] Sulfato de sodio: Fórmula, Propiedades, Estructura y Aplicaciones, *Lifeder*.

<https://www.lifeder.com/sulfato-de-sodio/>

[10] Química Orgànica Industrial, *Ascensión Sanz Tejedor*.

<https://www.eii.uva.es/organica/qoi/tema-04.php>