



UAB

Universitat Autònoma
de Barcelona

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE PARACETAMOL



Projecte Final de Carrera

Enginyeria química 2009

VOLUM I

Sergi Domínguez Gómez

Javier Domínguez Martín

Mabel Mora Garrido

Marc Oller Balcells

Queralt Tobarra García

Tutor: Javier Lafuente

12/06/2009

AGRAIMENTS

- **MARC:**

Ara són les 6 de la matinada de dijous.. i toca fer allò dels agraïments. Dic toca perquè sembla alguna cosa estranya i magníficament un apartat d'agraïments. Com s'hi haguéssim obtingut un premi, escrit un llibre o acabéssim de guanyar la Champions!! i ho agraïssim a l'afició. Però té sentit agrair quan prens consciència que has fet un gran pas i te'n sents orgullós. És en aquest punt on em ve de gust agrair a les persones que m'han envoltat, ajudat o simplement han format part i han fet possible que d'aquí poc més de 24 hores entregui el que serà el meu projecte final de carrera.

Agrair a la família i als amics "exteriors al percal" la comprensió i el recolzament durant aquests mesos. Els primers per aguantar els moments de neguit i mal humor que he portat a casa, que ja se que és molt difícil, i entendrem. Als segons per els moments d'evasió i bon rotllo que m'han aportat entenen que el meu temps lliure ha estat molt limitat. Aquí es on vull donar les gràcies especialment a la meva mare, que segurament perquè s'assembla a mi, o més ben dit, per que jo m'assemblo a ella, és qui més ha hagut d'aguantar estoicament els canvis d'humor i les bronques a casa.

També vull agrair als amics de la promoció o els que s'hi han afegit, per els moments viscuts al llarg de tota la carrera, que m'han portat fins i tot, a compartir-hi pis a l'estranger!!. Ara que segurament tanquem un cicle (tot i que alguns on m'incloc ens quedi encara un anyet empenyant per l'ETSE), mirant enrere me n'adono que les experiències viscudes amb vosaltres han estat algunes de les millors de la meva vida. Espero que d'aquí en endavant no perdem el que hem construït, ja que per a mi, seria una gran pèrdua.

Òbviament també haig d'agrair l'esforç, dedicació i el bon rotllo del grup. Tot i la mala sorpresa del sorteig, hem après a treballar i patir junts i considero que hem fet una molt bona feina i que el bon rotllo ha anat en augment des de l'inici. M'agradaria agrair-te Javi, l'aportació que has fet al grup. Tot i els problemes que vam tenir, vam ser sincers i ja t'ho he dit però valoro moltíssim l'actitud, per que sé que no va ser gens fàcil.

Per últim, vull agrair-te Nonna, la companyia durant aquest temps, el suport, el simple però molt important fet d'estar al meu costat. M'has ajudat durant aquests anys i també durant el projecte ha ser feliç i espero que tu també puguis dir quelcom semblant. Sense menysprear a ningú, ets lo millor que m'emporto de la carrera.

Menció a part al Barça, que també ha tingut alguna cosa a dir en la meva felicitat aquests últims mesos...

- **MABEL:**

No me lo puedo creer! Estamos redactando los agradecimientos!! Hace un mes, cuando pensábamos cada día que no seríamos capaces de entregar el proyecto en el tiempo que teníamos, no era capaz de sacar algo positivo de este lío en el que nos habíamos metido todos, EL PROYECTO. Todo eran dolores de cabeza, agobios, nervios,...pero por suerte, por encima de todo esto siempre han estado las risas, las bromas, el buen rollo, los ratitos del café, los mails, conocer a personas maravillosas....Evidentemente también hemos aprendido a trabajar como nunca, a ver que no todo es tan bonito como venir a la uni a hacer 4 clases al día y presentarte a un examen final, a tomar muchísimas decisiones que seguramente no sean las más adecuadas y, porqué no, a hacer un proyecto. Es por todo esto que quiero agradecer, a todo el mundo que ha estado a mi lado, el apoyo i los ánimos para empezar y acabar con este hueso tan duro de roer.

Primero, me gustaría darle las gracias a mi padre, que aunque ya no esté con nosotras seguramente me hubiese ayudado igual o más que nadie y que estoy segura que mañana hubiese estado muy contento de verme entregando el proyecto. También quiero agradecer a mi madre y a mi hermana. Gracias por haber estado siempre pendientes de mí y de que saliese adelante con este segundo ciclo de Ingeniería Química, de que siempre hayáis tenido fuerzas para animarme y de que hayáis conseguido que sigamos adelante con esta vida que se hace tan difícil en algunas ocasiones. Gracias. Hay también otra personita que nunca se ha ido de mi lado, Juan Luis, mi otra mitad. Probablemente eres la persona en la que más me he apoyado nunca, mi pilar. Siempre has intentado quitarle importancia a todas las cosas que se me han hecho complicadas y, ahora mismo, no recuerdo ningún momento en el que no hayas estado a mi lado así que, muchas gracias.

Pero, qué hubiese sido este proyecto sin mis compañeros de grupo???NADA, no hubiese sido nada. Chicos, sois los mejores y me ha encantado conocerlos a todos y cada uno de vosotros. Queralt, gracias por hacerme sonreír cada día y enseñarme todo lo que puede llegar a hacer una persona en 24horas. Gracias por no tener nunca un mal gesto con nadie ni una sola muestra de malhumor, eres simplemente genial!. Marc, bueno Marc, qué grado de energía llevas en el cuerpo!! Tu y la Kerry habéis sido el gran descubrimiento este año. Aunque en algunas ocasiones me haya puesto muy nerviosa escuchándote (s'ha mirar allò, queda per fer això altre.....uff!!), todos los ratos que hemos pasado todo riéndonos con tus cosas me han compensado muchísimo. Gracias por trabajar tan duro y por hacer de nuevo la bufanda! Que vaya lío! Sergi, cuánto hemos hablado!!no quiero saber cómo son las facturas de teléfono pero te quiero agradecer que hayas confiado en mí para cada duda que has tenido y también para hablar de muchísimas otras cosas que no tienen que ver con el proyecto. Puede que no te lo parezca pero, seguramente sin darte cuenta, me has ayudado muchísimo con mis historias. Merci freelance! Javi qué bien hayamos podido arreglar todas las cosas que han pasado y que

al final podamos pasar buenos ratos juntos! Te quiero agradecer que te hayas puesto tanto las pilas y que no hayas tenido ningún tipo de rencor conmigo ni con nadie. Has trabajado muchísimo y gracias a eso hemos sido un grupo de 5. Gracias Javi. Chicos, espero que a todos os vayan las cosas de perlas después de la carrera.

Por último, ya sé que soy muy pesada y que los agradecimientos del Sergi, si es que los hay, van a ser muy breves pero.....le quería dar las gracias a los profesores y nuestro tutor, que han tenido que acabar este semestre hasta la coronilla de nosotros, por intentar tener un huequito en cualquier momento para explicarnos las cosas y echarnos un cable. Gracias.

- Queralt:

Primerament, m'agradaria reconèixer tot l'esforç dedicat pels meus companys en aquest projecte. Aquest any ha estat el primer any pel qual no s'ha realitzat un treball conjunt amb les persones que cadascú desitjava, però en el meu cas, haig de remarcar que ha estat un gran plaer treballar amb el grup que se'm va assignar. L'esforç que tots ells han realitzat en aquests 4 mesos ha estat admirable a més a més de destacar el respecte entre tots nosaltres en tots els moments de tensió, alegria, desesperació...etc. Nois, agrair-vos els moments de riures incontrolats, esforç realitzat, l'interès, hores dedicades...TOT!! Ha estat un veritable plaer!!! Començant per la paciència del Javi, els moments històrics del Marc, els riures amb la Mabel i els comentaris d'ironia amb el Sergi!!! Moltes gràcies a tots de debó!! Tot i que aquest projecte ens ha deixat a tots "K.O", recordaré sempre aquests 4 mesos al vostre costat!! Tot això, sense oblidar al nostre tutor del projecte, el Javier, gràcies per aguantar les nostres preguntes més d'una hora i agrair-li tota l'ajuda proporcionada!!!

Donar les gràcies a totes aquelles persones amb qui he compartit aquests cinc anys, han estat 5 anys durs, moltes hores d'estudi, però sempre intentant portar-les de la millor manera que hem pogut i intentar gaudir al màxim en les classes, els dinars, sopar, festes, viatges i estones que hem estat junts: En especial fer referència a les tres persones amb les que més he compartit: Lixa, Hug, Manzano, Gràcies nois!

Carla, Alba, Nonna, Èdgar, Esther, Eulis, Marc, Marçal, Dani, Andrés, Joan, Maria, Oriol, Bernat, David, Marisa i a totes les altres persones que segurament m'estaré deixant....MOLTES GRÀCIES!!!!

En aquests agraïments no puc oblidar a les dues persones més importants i que més m'han fet costat en aquesta vida, els meus pares. A qui els hi agraeixo tota la paciència, l'esforç i el recolzament que m'han proporcionat en totes les decisions preses. Gràcies!

Per acabar, agrair també a tots els professors del departament d'Enginyeria Química la disponibilitat, l'ajuda i la paciència que han tingut amb nosaltres!!!! Sense oblidar-me del personal de la cafeteria, que hagués estat de nosaltres sense el cafè de primera hora del Chema!

Moltes gràcies a tots, han estat uns anys inolvidables!

Queralt.

- Sergi:

Després de tantes nits amb el meu grup a la biblioteca fent el "meravellós" projecte ha arribat l'hora de redactar els agraïments. Abans de tot vull fer explícit el meu agraïment a tots els membres del meu grup (Queralt, Marc, Javi i Mabel) per fer-me passar aquets bons moments amb ells mentre realitzàvem el treball. La veritat és que al seu costat es passaven les hores volant mentre es portaven a terme les diferents tasques del projecte. Tampoc no em vull oblidar dels altres grups perquè amb ells també he passat molt bons moments.

Una altra part important que no he d'oblidar és la família, la veritat és que els he de donar les gràcies per la paciència que han tingut sobretot aquesta última setmana, a causa de l'estrès d'aquests darrers dies, els pobres només em podien veure a la foto que hi ha penjada al menjador. Tampoc no vull oblidar-me dels membres de la família que ara no es troben entre nosaltres, estic convençut que ella estarà orgullosa del seu nebot que ara està a punt de finalitzar la carrera. La veritat és que moltes vegades em vénen a la memòria aquests diumenges que anàvem al seu terreny per menjar arròs. Espero que allà on estigui tot li vagi molt bé...

També vull agrair a tota la gent que en algun moment ens han ajudat o com a mínim ho han intentat que per a mi ja és molt. M'agradaria no deixar-me a ningú, però el meu petit cervell després d'aquests dies ja no està per fer molta memòria... En definitiva, moltes gràcies a: Juanlu, Dolors Pujol, Albert, Maikel, Ruben, la dona que aquesta treballat en la biblioteca a la nit i per descomptat la màquina del cafè perquè sense ella no hagués estat possible.

També vull fer extensiu el meu agraïment a tots els professors que ens han ajudat amb alguns dubtes que ens han sorgit, i per descomptat. què puc comentar del nostre tutor Javier Lafuente... Amb ell les tutories han estat molt relaxades i en tot el possible ens intentava guiar pel camí correcte. Per últim vull dir als meus amics que em vagin guardant un lloc en el cotxe per sortir de festa, després d'aquests dos mesos potser ja ni recorden la meva cara, i ja m'han dit que ara que arriba l'estiu hauré de recuperar el temps que he perdut amb ells.

- **JAVI:**

En primer lugar me gustaría dedicar y agradecer su apoyo en este proyecto a mis padres y a mi hermano. A mis padres sobre todo por aguantar mis momentos de estrés, y por su comprensión en estos meses y a mi hermano a parte de todo eso también por su apoyo informático durante el proyecto. En fin, gracias por apoyarme siempre.

A mi abuelo Juan porque aunque ya, solo existas en la memoria de los que te queremos, te dedico también este proyecto, porque sé que estarás orgulloso de mi y aunque no estés tus consejos todavía me ayudan. También se lo dedico a mi tieta, que casi le hace más ilusión que a mí acabar el proyecto, porque dice que en los últimos meses no me ve el pelo.

Al resto de mi familia también por su apoyo y ayuda en momentos críticos, en especial a mis primas Elena y Laura y a mis tíos Juan y Luisa. Sin olvidar mis primos Mireia, Olga, Raúl y Mauro que tan buenos consejos me han dado siempre. En fin a toda mi familia que son lo mejor de lo mejor.

A mis amigos de toda la vida, también les quiero hacer mención especial, porque ellos más que nadie comparten el día a día conmigo y saben por todo lo que he pasado estos meses:

Oriol, que me conoces más que nadie, simplemente gracias por el apoyo recibido durante toda la carrera, no solo en estos meses de proyecto.

Javi, solo decir gracias por escucharme y por hacerme desconectar simplemente hablando contigo por teléfono, parece que no pero me has ayudado más de lo que crees

Laya, mi hermanita, muchísimas gracias por estar siempre animándome a conseguir mis metas, por tu apoyo y cariño.

Andrea, lo prometido es deuda es broma, gracias por comprenderme y gracias por ese pedazo de logo.

Cris, mi inseparable compañera de mundet, gracias por todo, por escuchar en los momentos difíciles y por estar hay siempre.

María, gracias por tu apoyo diario estos meses de proyecto, pero aun estoy mas agradecido porque estas día a día apoyándome.

Bueno como me pasaría así horas y horas, y no hay mucho tiempo, también quiero agradecer el apoyo y que me hayan aguantado mis problemas estos meses y durante toda la carrera a Anna, Tamara, Iris, Marta, Fran, Ana, Marta, Nacho, Cris, Sheila, Amanda, Kike, Débora, Edu, Sara, Martí, Víctor, Edgar, José Luis, Víctor, Nuria, Javi, Jessy, Mireia, Lidia, Sonia. Bueno espero no dejarme a nadie.

También agradecer a mis amigos de la uni todo lo que me han ayudado todos estos años, en especial a Laura, José, Sonia, Saccha, Sergio, Marina y Cesar por todos estos años de carrera y porque sin ellos todos los días hubieran sido más largos han sido un gran apoyo para tirar para adelante estos meses.

Sin olvidarme de mis compañeros de grupo. Que aunque hemos tenido nuestros problemillas hemos tirado para adelante para hacer un buen trabajo. A Mabel, por ayudarnos a todos con lo que estábamos haciendo, aunque le quitara de hacer su trabajo. A Marc por ser nuestro visionario ya que tiene solución para casi todo y por nuestras discusiones de cabezones. A Queralt por ser sargento en momentos claves para que nadie se durmiera. A Sergi por sus horas nocturnas en la biblio y su Mac que tantos problemas nos ha dado. Pero en general ha sido un gustazo trabajar con vosotros, porque hemos currado como nunca pero nunca ha faltado el buen rollo, las risas, los cafés...

También gracias a todos los profesores que nos han ayudado con sus consejos.

Ah!!!! No podía dejar de agradecer al Barça por la gran temporada que ha hecho porque gracias a ellos he podido desconectar aunque solo fuera unas horas.

Sin todos vosotros no lo hubiera conseguido nunca. GRACIAS por haber estado conmigo durante el proyecto y siempre.

VOLUM I

1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE

1.2 MÉTODES DE PRODUCCIÓ DE PARACETAMOL

1.3 SELECCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ

1.4 DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ

1.5 PRINCIPALS ÚS DEL PARACETAMOL

1.6 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA

1.7 BALANÇ DE MATÈRIA

1.8 ESPECIFICACIONS I NECESSITATS DE SERVEI

1.9 DIAGRAMA DE BLOCS

2. EQUIPS

2.1 NOMENCLATURA

2.2 LLISTAT GENERAL D'EQUIPS

2.3 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-100

2.4 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-200

2.5 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-300

2.6 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-400

2.7 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-500

2.8 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-600

2.9 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-700

- 2.10 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-800
- 2.11 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-900
- 2.12 FULLES D'ESPECIFICACIÓ D'EQUIPS A-1200

3. CONTROL I INSTRUMENTACIÓ

- 3.1 INTRODUCCIÓ
- 3.2 IMPLANTACIÓ DEL SISTEMA DE CONTROL A LA PLANTA
- 3.3 NOMENCLATURA
- 3.4 DESCRIPCIÓ DELS LLAÇOS DE CONTROL
- 3.5 INSTRUMENTACIÓ: ELEMENTS PRIMARIS
- 3.6 ELEMENTS FINALS DE CONTROL
- 3.7 TARGETES D'ADQUISICIÓ DE DADES

VOLUM II

4. CANONADES, VÀLVULES, ACCESSORIS I BOMBES

- 4.1 CANONADES
- 4.2 VÀLVULES
- 4.3 BOMBES I COMPRESSORS

5. SEGURETAT E HIGIENE

- 5.1 INTRODUCCIÓ

5.2 LEGISLACIÓ A COMPLIR SOBRE SEGURETAT I SALUT

5.3 CLASSIFICACIÓ DE LA PLANTA

5.4 IDENTIFICACIÓ DE LA OBRA I DADES GENERALS

5.5 DISPOSICIONS DE LA PLANTA

5.6 MANIPULACIONS DE SUBSTÀNCIES QUÍMIQUES

5.7 EMMAGATZEMATGE DE SUBSTÀNCIES QUÍMIQUES

5.8 NORMES GENERALS DE SEGURETAT

5.9 SENYALITZACIONS

5.10 SISMICITAT

5.11 PRINCIPALS RISCOS EN LA INDUSTRIA

5.12 MESURES DE SEGURETAT ASSOCIADES A LA PLANTA QUÍMICA

5.13 PLA D'EMERGÈNCIA INTERIOR (P.E.I.)

5.14 PROTECCIÓ CONTRA INCENDIS

5.15 EQUIPS DE PROTECCIÓ INDIVIDUAL (EPI)

5.16 MESURES DE SEGURETAT ESPECIALS

6. MEDI AMBIENT

6.1 INTRODUCCIÓ

6.2 LEGISLACIÓ VIGENT SOBRE LA CONTAMINACIÓ MEDIAMBIENTAL

6.3 TRACTAMENT DELS RESIDUS PRODUÏTS DURANT LA PRODUCCIÓ DE
PARACETAMOL

7. AVALUACIÓ ECONOMICA

7.1 INTRODUCCIÓ

7.2 CÀLCUL DEL COST DELS EQUIPS

7.3 CAPITAL IMMOBILITZAT

7.4 CAPITAL CIRCULANT

7.5 COSTOS DE FABRICACIÓ

7.6 VENDES I RENDIMENTS

8. POSADA EN MARXA

8.1 INTRODUCCIÓ

8.2 TASQUES PRÈVIES A LA POSADA EN MARXA

8.3 POSADA EN MARXA DELS SERVEIS

8.4 POSADA EN MARXA INICIAL DE LA PLANTA

8.5 PARADES DE LA PLANTA

8.6 POSADA EN MARXA DEL PROCÉS DESPRÉS D'UNA PARADA

9. OPERACIÓ EN PLANTA

9.1 INTRODUCCIÓ

9.2 RECEPCIÓ I EMMAGATZEMATGE DE MATÈRIES PRIMERES

9.3 TANCS D'EMMAGATZEMATGE DE REACTIUS

9.4 DESCÀRREGA DE PRODUCTE

9.5 CONTROL DE QUALITAT DE MATÈRIES PRIMERES I PRODUCTE

9.6 CONTROL DE RESIDUS

9.7 CONTROL DE COMPOSICIÓ DE PROCÉS

9.8 MANTENIMENT DELS EQUIPS DE PROCÉS

9.9 MANTENIMENT DE BOMBES I COMPRESSORS

9.10 MANTENIMENT DE L'ATURADA DE PRODUCCIÓ

VOLUM III

10. PLANOLS

VOLUM IV

11. MANUAL DE CÀLCUL

11.1 DISSENY DELS TANCS D'EMMAGATZEMATGE DE REACTIUS

11.2 DISSENY DE REACTORS

11.3 DISSENY DE COLUMNES DE DESTIL·LACIÓ

11.4 DISSENY DELS CRISTAL·LITZADORS

11.5 DISSENY DE LA COLUMNA D'EXTRACCIÓ (C-501)

11.6 DISSENY DE LA COLUMNA D'ARRASTRE PER VAPOR (C-601)

11.7 DISSENY DELS TANCS PULMÓ

11.8 DISSENY D'ASSECADORS (AR-601, AB-801, AB-802)

11.9 DISSENY DE CICLONS (CI-601, CI-602)

11.10 KETTLE-REBOILER (E-501, E-701)

11.11 CONDENSADORS (E-502, E-504 I E-604)

11.12 INTERCANVIADORS DE CALOR DE CARCASSA I TUBS (E-503)

11.13 INTERCANVIADORS DE CALOR DE DOBLE TUB (E-601/602, E-801/803)

11.14 SEPARADOR DE FASES (S-502)

11.15 DISSENY DELS TANCS D'EMMAGATZEMATGE DE PRODUCTES I
SUBPRODUCTES

11.16 DISSENY D'EQUIPS DE SERVEI

11.17 CÀLCUL DE BOMBES I COMPRESSORS

12. BIBLIOGRAFIA

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

1.1	DEFINICIÓ DEL PROJECTE	1-6
1.1.1	<i>Bases del projecte</i>	1-6
1.1.2	<i>Abast del projecte</i>	1-6
1.1.3	<i>Localització de la planta.....</i>	1-7
1.1.4	<i>Avaluació de les comunicacions i accessibilitat.....</i>	1-8
1.1.5	<i>Nomenclatura de la memòria.....</i>	1-9
1.2	MÈTODES DE PRODUCCIÓ DE PARACETAMOL	1-12
1.2.1	<i>Ruta clàssica.....</i>	1-12
1.2.2	<i>Ruta de Hoechst-Celanese.....</i>	1-13
1.2.3	<i>Altres rutes de producció</i>	1-14
1.3	SELECCIÓ DEL PROCÉS DE PRODUCCIÓ.....	1-15
1.4	DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ	1-21
1.4.1	<i>Introducció.....</i>	1-21
1.4.2	<i>Recepció i emmagatzematge de matèries primeres</i>	1-22
1.4.3	<i>Preparativa de reactius</i>	1-25
1.4.4	<i>Reacció de nitració</i>	1-27
1.4.5	<i>Purificació del p-nitrofenol.....</i>	1-31
1.4.6	<i>Tractament d'aigües mare de nitració</i>	1-33
1.4.7	<i>Reacció de hidrogenació/acetilació</i>	1-35
1.4.8	<i>Purificació final APAP.....</i>	1-38
1.4.9	<i>Emmagatzematge del paracetamol i altres subproductes.....</i>	1-39
1.4.10	<i>Venta del producte final.....</i>	1-40
1.5	PRINCIPAL ÚS DEL PARACETAMOL.....	1-40

1.5.1	<i>Propietats del paracetamol</i>	1-40
1.5.2	<i>Producció mundial</i>	1-41
1.6	CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA.....	1-41
1.6.1	<i>Normatives</i>	1-41
1.6.2	<i>Criteris a seguir en la construcció de la planta</i>	1-42
1.6.3	<i>Classificació per àrees</i>	1-43
1.6.4	<i>Plantilla de treballadors</i>	1-46
1.7	BALANÇ DE MATÈRIA	1-48
1.8	ESPECIFICACIONS I NECESSITATS DE SERVEI	1-55
1.8.1	<i>Aigua de xarxa</i>	1-55
1.8.2	<i>Gas Natural</i>	1-55
1.8.3	<i>Aigua descalcificada</i>	1-56
1.8.4	<i>Aire comprimit</i>	1-56
1.8.5	<i>Nitrogen</i>	1-57
1.8.6	<i>Aigua de refrigeració</i>	1-58
1.8.7	<i>Grups de fred</i>	1-58
1.8.8	<i>Electricitat</i>	1-59
1.8.9	<i>Grups electrògens</i>	1-63
1.9	DIAGRAMA DE BLOCS	1-64

1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE

1.1.1 Bases del projecte

L'objectiu d'aquest projecte es basa en el disseny d'una planta química en la qual es durà a terme la producció del paracetamol a partir de la nitració del fenol. Per a realitzar aquest projecte s'haurà de tenir en compte que la planta compleixi les normatives i legislacions vigents.

Aquest projecte inclou els càlculs realitzats per a obtenir el disseny dels equips necessaris per a dur a terme el procés, els diagrames corresponents al procés com ara plànols d'enginyeria, implantació, etc., la posta en marxa de la planta i d'altres especificacions necessàries per a poder tenir una visió més acurada del procés de construcció per a una planta química d'aquestes característiques.

Aquesta planta de fabricació de paracetamol ha estat dimensionada en base a unes especificacions fixades les quals són les següents:

- **Capacitat de producció:** 6.000 Tn/any de Paracetamol sòlid.
- **Funcionament de la planta:** 300 dies/any. Dos parades de manteniment a l'any, una a l'estiu i l'altre a l'hivern. Parada de l'àrea 700 cada 3 mesos per a afegir catalitzador al procés.
- **Presentació del producte final:** En producte sòlid disposat en bosses de polietilè de 25 kg dintre de bidó de cartró.
- **Via de producció del paracetamol:** Mitjançant la reacció de nitració del Fenol a partir d'àcid nítric i nitrós.

1.1.2 Abast del projecte

En l'abast del projecte es mencionen els principals punts realitzats en aquest treball per a poder obtenir un bon funcionament de la planta química.

- Disseny i especificacions dels equips involucrats en tot el procés.
- Disseny del Lay-Out, diagrames d'enginyeria, diagrames d'implantació..
- Disseny i especificacions del sistema de control realitzat en cada àrea de la planta.
- Estudi del sistema de seguretat i higiene a seguir en plantes químiques per a poder complir les normatives legals vigents.

- Estudi del sistema medi ambiental a seguir en plantes químiques per a poder complir les normatives legals vigents .
- Avaluació econòmica de la planta.

1.1.3 Localització de la planta

La planta química de producció del paracetamol es trobarà localitzada al municipi de Sabadell, més específicament al polígon Industrial fictici *Gasos Nobles*.

A l'hora de dissenyar la planta s'haurà de tenir en compte que aquesta compleixi rigorosament tota la normativa urbanística del municipi així com les alçades màximes d'edificació, l'ocupació de la parcel·la i l'edificabilitat.

La figura 1.1 mostra el mapa polític de Catalunya en la qual es pot apreciar la comarca del Vallès Occidental on aquesta hi serà situada.



Figura 1.1. Mapa polític de Catalunya

1.1.4 Avaluació de les comunicacions i accessibilitat

L'accessibilitat de la planta i la comunicació que aquesta presenti s'haurà de tenir en compte abans d' iniciar les obres de construcció, tanmateix, serà molt important fer-ne un estudi previ per tal de avaluar que aquesta presenti una bona comunicació i infraestructura.

La comunicació i l'accessibilitat a la planta química serà molt important tant per a l'arribada de matèries primeres com per a la distribució del producte acabat, així interessa tenir un bon abast tant de les carreteres principals, aeroports o de línies ferroviàries.

Sabadell es troba situada a la comarca del Vallès Occidental, aquesta ciutat es troba ben comunicada pel que fa a autopistes centrals les quals comuniquen amb la resta de carreteres principals i secundàries. Gràcies a les bones comunicacions per carreteres que Sabadell disposa el transport de matèries primeres i productes acabats serà més fàcil de transportar tant als aeroports més propers com El Prat de Barcelona o l'aeroport de Girona, a més a més de disposar del port de Barcelona el qual permetrà transportar les matèries per via marítima

La figura 1.2 mostra l'accessibilitat a la planta per carreteres on es mostra les autopistes, autovies i carreteres secundàries d'accés al polígon industrial i la comunicació d'aquest amb altres indrets de la geografia catalana.



Figura 1.2. Accessibilitat per carretera

1.1.5 Nomenclatura de la memòria

En aquest apartat es definirà les àrees en que la planta ha estat dividida a més a més d'especificar la nomenclatura utilitzada al llarg del projecte per a definir els corrents, fluids de procés, equips utilitzats, etc.

- **Àrees de la planta química.**

Taula 1.1 Àrees de la planta de producció de Paracetamol

Nomenclatura	Àrea
A-100	Emmagatzematge matèries primeres
A-200	Emmagatzematge Àcids i Bases
A-300	Preparació de reactius
A-400	Reacció Nitració
A-500	Tractament d'aigües mares
A-600	Purificació Paranitrofenol
A-700	Reacció Acetilació-Hidrogenació
A-800	Purificació Paracetamol
A-900	Emmagatzematge producte i sub-productes
A-1000	Sala de control
A-1100	Tractament de residus
A-1200	Serveis planta
A-1300	Laboratoris (I+D, producte acabat i matèries primeres)
A-1400	Oficines

- **Equips de procés.**

La nomenclatura emprada per a nomenar els equips de procés que es disposen en tota la planta química es troba especificada més endavant, concretament al capítol 2 d'aquest volum. (Veure taula 2.1)

- **Fluids de procés:**

Taula 1.2 Fluids de procés

Fluid procés	Nomenclatura
Nitrit sòdic (NaNO_2) sòlid	NIS
Nitrit sòdic (NaNO_2) + H_2O	NIA
Bisulfit sòdic NaHSO_3 (sòlid)	BIT
Bisulfat sòdic (NaHSO_4)	BAT
(NaNO_3)	NAT
(Na_2SO_4)	SAT
Àcid sulfúric	AS
Àcid nítric	AN
Àcid acètic anhidre	AO
Àcid acètic glacial	HAC
Hidròxid de sodi (NaOH)	HS
Àcid nítrós (HNO_2)	NOA
Òxids nitrogen (Nox)	NO
Productes reacció nitració	PRN
Pentà	P

Taula 1.3 Fluids de procés

Fluid procés	Nomenclatura
Fenol	Ph
Ortonitrofenol	Onp
Dinitrofenol	Dnp
Paranitrofenol	Pnp
By-products	BY
Acetoxiacetaminofen (AAA)	AAA
Acetaminofen (APAP)	APAP
Catalitzador (Pd-C)	Pd
Aigua àcida	AW
Aigua orgànica	OW
Vapor orgànic	OVA
Vapor procés	VA
Hidrogen	HH
Nitrogen	NN
Aire	AI
Aigua (H_2O) procés	A

- **Serveis**

Taula 1.4 Fluids de procés

Compost servei	Nomenclatura
Steam	ST
Hidrogen gas (H ₂)	H
Nitrogen gas (N ₂)	N
Aigua refrigeració	AR
Aigua glicolada	AG
Aigua Chiller	ACH
Aigua calenta	AC
Aigua torre	AT

- **Equips de servei**

Taula 1.5 Equips de servei

Equip de servei	Nomenclatura
Torre de refrigeració	TR
Descalcificador d'aigua	DA
Estació transformadora	ET
Grup electrogen	GE
Caldera gas natural	CA
Chiller	CH
Planta separació d'aire	PN
Compressor aire	CP

1.2 MÈTODES DE PRODUCCIÓ DE PARACETAMOL

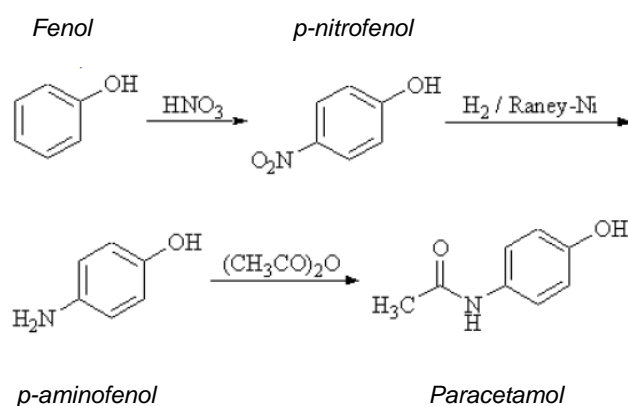
El paracetamol és una substància amb propietats analgèsiques i antipirètiques. Aquest producte és emprat pel tractament de dolors moderats i febre. El paracetamol és una de les substàncies analgèsiques més populars com a fàrmac singular però també com a ingredient d'altres fàrmacs.

La síntesi d'aquest fàrmac segueix sempre el mateix ordre de reaccions; la diferència entre cadascun dels mètodes de producció no tan sols es troben als dissolvents i catalitzadors utilitzats, a les condicions de pressió i temperatura i a les proporcions molars dels reactius, sinó que també poden haver-hi diferències respecte la molècula de partida ja que, encara que l'objectiu d'aquest projecte sigui el d'obtenir el paracetamol a partir del fenol, també es pot obtenir a partir d'altres compostos aromàtics com per exemple el benzè.

A continuació s'expliquen breument aquelles vies de síntesi que són més conegudes o emprades i que tenen com a punt de partida la molècula de fenol (willey,2002):

1.2.1 Ruta clàssica

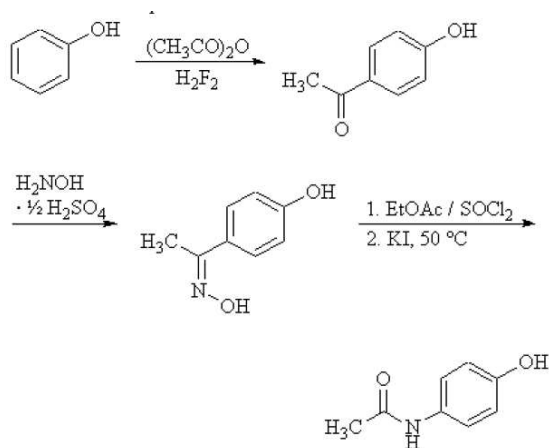
La ruta clàssica de síntesi del paracetamol té el seu origen a la molècula de fenol. Les reaccions que es donen per a arribar al producte final són: nitració del fenol amb àcid nítric, hidrogenació catalitzada amb Raney-Ni i acetilació amb acètic anhidre. El medi a on es dona la primera reacció pot ser de caràcter orgànic o aquós però sempre en presència de l'agent nitrant, l'àcid nítric. La reacció de hidrogenació i acetilació es donarà normalment en medi orgànic (àcid acètic). Les reaccions que s'exposen a continuació no tenen en compte la formació d'altres productes de presència indesitjable al producte final, paracetamol o N-acetil-p-aminofenol, com són els isòmers del p-nitrofenol.



Aquesta via és àmpliament emprada i es troba majoritàriament aplicada a tots els processos de producció de paracetamol. Existeixen, entre dos processos de producció de paracetamol per la ruta clàssica, petites diferències com el tipus de catalitzador emprat (Pd o Pt enlloc de Ni), el dissolvent o les condicions de pressió i temperatura emprades però no diferències en l'ordre ni el tipus de reaccions.

1.2.2 Ruta de Hoechst-Celanese

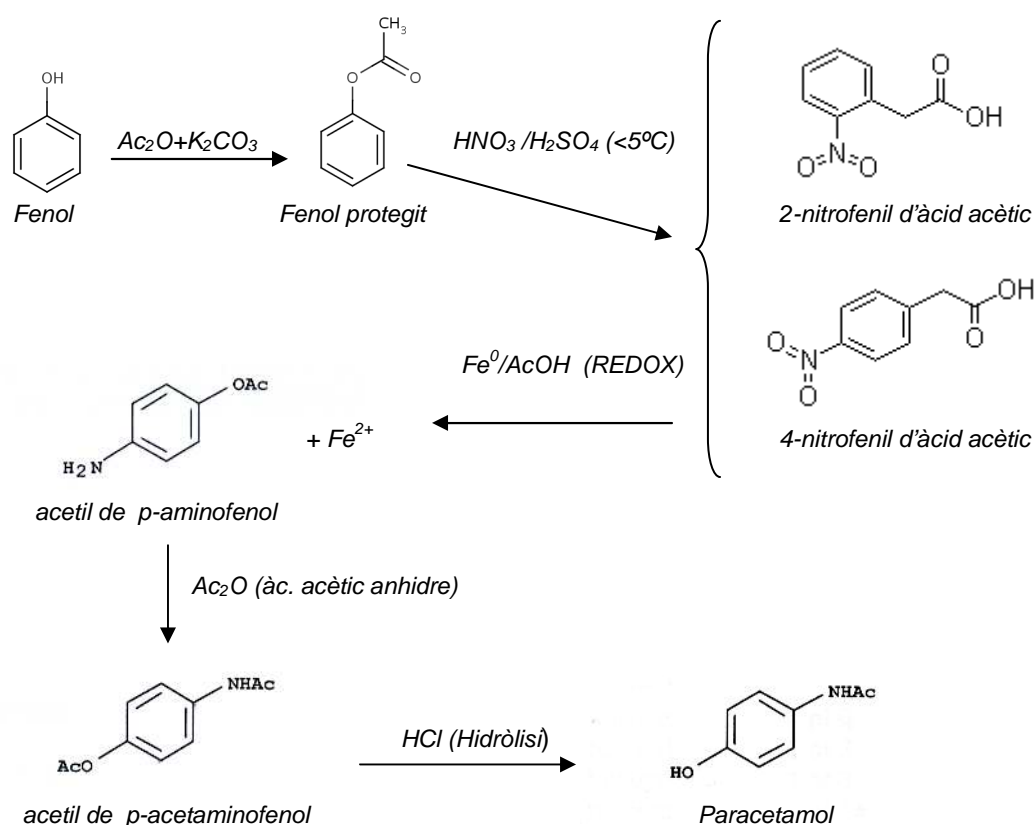
Aquesta ruta també té el seu origen a la molècula de fenol però el mecanisme i mode de reacció és totalment diferent a la ruta anterior. L'ordre de les reaccions ja no és nitració, hidrogenació i acetilació sinó que s'opta per una via amb reaccions alternatives. Primerament s'acetila la molècula de fenol amb acètic anhidre i en presència d'àcid fluorhídric, formant-se una molècula de fenol acetilat que, a continuació, quan es posa en contacte amb sulfat de hidroxilamina, es redueix formant una molècula aminada que passarà a la següent etapa de reacció. Aquesta última es podrà transformar en paracetamol mitjançant una substància com l'acetat d'etil o el clorur àcid de l'àcid sulfurós i el iodur de potassi a una temperatura de 50°C. A continuació es poden veure més clarament les reaccions que hi tenen lloc:



Aquesta via no és aplicada actualment. Els reactius que utilitza per a obtenir el producte són molt tòxics i alguns d'ells cancerígens. La informació que hi ha d'aquest mètode de producció és gairebé inexistent. Aquesta via de producció, per tant, no s'ha plantejat mai per a la selecció de procés de fabricació objecte del present projecte.

1.2.3 Altres rutes de producció

Les rutes explicades anteriorment són rutes exposades a la bibliografia que donen a conèixer la base del procés reactiu. Existeix una altra via alternativa que té moltes etapes comunes a la ruta clàssica però que inclou petites diferències que tenen els seus avantatges i inconvenients. Aquesta via la proporcionà als inicis del projecte la Dra. en Farmàcia M^a Dolors Pujol i es pot veure a continuació un breu resum del procediment de reacció.



Del que es tracta amb aquesta mètrica és de no obtenir cap producte secundari indesitjable i, a més, de poder separar els isòmers orto i para d'una forma més senzilla. La primera reacció és l'acetilació de la molècula de fenol. Aquesta és la reacció clau en aquesta ruta d'obtenció de paracetamol. El fenol acetilat o "protegit" no forma benzoquinones polimeritzades (tars) que són el problema més important que es presenta a la nitració dels anells aromàtics.

La reacció de nitració té lloc de la mateixa forma que la ruta clàssica, és a dir, amb àcid nítric i àcid sulfúric si s'escau. S'obtenen amb aquesta nitració dos isòmers acetilats que són fàcilment separables amb una simple cristallització.

El para-nitrofenol acetilat es redueix amb ferro i en medi orgànic d'àcid acètic. Aquesta reducció no necessitarà treballar a altes pressions ni temperatures (la ruta clàssica funciona amb condicions més fortes). La molècula de p-nitrofenol acetilat reduïda es fa reaccionar amb acètic anhidre per a posteriorment hidrolitzar aquesta molècula amb àcid clorhídric i obtenir el paracetamol totalment net de subproductes de reacció.

L'avantatge d'aquest procediment és que es treballa en condicions molt suaus sense cap mena de perill causat per les altes pressions o temperatures a les que ha de treballar la ruta clàssica per a fer la hidrogenació. Es gasta menys energia tant en sistemes de impulsió de fluids com en materials de construcció i sistemes de bescanvi de calor.

L'inconvenient principal és que se segreguen residus com hidròxid de ferro, acetat potàssic precipitat a la dissolució de producte i l'ús d'un àcid més, l'àcid clorhídric.

1.3 SELECCIÓ DEL PROCÉS DE PRODUCCIÓ

Per a seleccionar el procés productiu complet s'ha realitzat la recerca de la informació per reaccions de procés. Inicialment, es va seleccionar el mètode de producció en funció de la informació bibliogràfica que hi hagués disponible, tant en patents com llibres, revistes digitals, articles,.... La ruta clàssica, evidentment, va ser la que es va escollir ja que està molt més estudiada i la informació disponible no és tan reduïda com la resta de rutes esmentades en l'apartat anterior. Tot i que aquesta és la ruta més estudiada, els resultats de la recerca bibliogràfica no han estat gaire satisfactoris ja que no s'han pogut trobar ni estudis cinètics, ni informació sobre el mètode d'obtenció d'alguns dels reactius principals del procés.

Els apartats en els quals es va dividir inicialment el procés per a decidir les operacions bàsiques de les que hauria de disposar la planta van ser:

- *Nitració*
- *Purificació del p-nitrofenol*
- *Hidrogenació*
- *Purificació del p-aminofenol*
- *Acetilació*
- *Purificació final*

Les fonts d'informació principals han estat les United States Patents. Es va intentar buscar totes aquelles patents que no fossin gaire antigues i que expliquessin cadascun dels

procediments esmentats al llistat anterior. Durant aquesta recerca es va trobar una empresa (Hoechst-Celanese) que havia patentat un procés de hidrogenació/acetilació conjunta i que obtenia uns resultats excel·lents pel que fa a la qualitat del producte i el rendiment de la reacció; per tant, el procés es queda únicament repartit en 4 àrees de procés diferenciades. A continuació s'explica la selecció de patents per a cadascuna d'elles:

- **Nitració**

La reacció de nitració ha estat la més discutida de totes les reaccions del procés. Aquesta reacció és molt problemàtica des del punt de vista de la selectivitat, de la formació de subproductes, de les condicions d'operació i de les relacions entre reactius. La nitració de compostos aromàtics mitjançant substitució nucleofílica és una reacció mitjanament senzilla a escala de laboratori però altament conflictiva a escala industrial. Després de consultar la bibliografia s'ha vist que aquesta reacció es dona en dues etapes:

1. Nitrosació del fenol

És la reacció que es produeix entre el fenol i l'agent nitrosant, que és l'àcid nítrós o algun tipus d'òxid de nitrogen. El producte de la reacció és el nitrosfenol.

2. Nitració del fenol

És la reacció que es produeix entre el nitrosfenol i l'àcid nítric. El producte de la reacció és el nitrofenol.

S'han tingut en compte moltes fonts bibliogràfiques però les que han proporcionat més informació han estat les USPatents. A continuació es fa un breu resum d'aquelles que s'han seleccionat per a l'elecció final del procés:

- USPatent 3510527

La informació que dona a conèixer aquesta patent sobre el procés de nitració del fenol és molt completa. A continuació s'enumeren els punts més importants de informació que proporciona aquesta patent i que han estat de gran utilitat per a entendre el mecanisme de la reacció i el perquè de les condicions de treball:

- a) La primera part de la reacció, la nitrosació, s'ha de portar a terme a temperatures inferiors a 10°C per a que no es produeixin "tars" que són compostos molt difícils d'eliminar i que malmeten el producte final ja que donen color fosc que un producte farmacèutic no pot tenir.
- b) L'agent nitrosant, és a dir, l'àcid nítric o algun tipus d'òxid de nitrogen, que es fa servir per a la nitrosació ha de ser eliminat abans que comenci la segona reacció. Això és degut a que aquests compostos poden reaccionar amb el p-nitrofenol final i formar diazoòxids que fan que el producte final sigui més impur.
- c) La segona reacció, la nitració, es porta a terme a una temperatura d'entre 15°C i 30°C per a desplaçar els òxids de nitrogen a la fase gas i també per augmentar la velocitat de la reacció.
- d) S'utilitza com a medi de reacció àcid nítric al 15% i l'addició de fenol s'ha de fer de manera molt lenta per a no afavorir l'aparició d'un fase orgànica heterogènia a on la formació de l'isòmer orto-nitrofenol està afavorida. El fenol pot estar en estat sòlid, líquid o en dissolució.

Amb aquesta patent es va aconseguir molta informació teòrica però es va descartar perquè s'aconseguien rendiments de fins el 98,5% però amb contingut en isòmer orto o en impureses massa elevat per a complir amb les especificacions fixats.

- USPatent 3519693

Aquesta patent basa, de la mateixa manera que l'anterior, la reacció de nitració en dues reaccions consecutives que utilitzen agent nitrosant com a iniciador de la primera de les dues reaccions. L'avantatge que proporciona aquesta patent és que dóna la possibilitat d'utilitzar una sal enlloc d'òxids de nitrogen, el nitrit sòdic. L'inconvenient és que aquesta sal és mol cara i no es pot utilitzar de la mateixa manera que la resta de reactius.

El procediment d'addició de reactius es conserva però la temperatura de treball es fa romandre constant al llarg de tot el procés de nitració. La diferència amb el procediment patentat amb anterioritat és que fa servir un medi fortament àcid i reductor que s'aconsegueix amb l'addició de sulfúric al medi de reacció.

Aquesta patent es va descartar degut a que, per a obtenir la menor formació de subproductes, s'havia de treballar a temperatures per sota de 0°C. Quant la temperatura de

treball era de més de 0°C la formació de orto-nitrofenol i altres impureses augmentava per sobre d'un 15% de rendiment.

- USPatent 5414148

Aquesta patent va ser la que es va escollir definitivament. Treballa en condicions molt més severes que les anteriors ja que la concentració d'àcid sulfúric ha de ser de com a mínim el 60%. Aquesta concentració d'àcid evita el risc d'explosió del p-nitrosofenol, que és soluble en aquestes condicions d'acidesa. A més, la concentració de sulfúric té un doble avantatge i és que fa precipitar el producte final a la temperatura de treball de 25°C.

El procés de nitració d'aquesta patent dona diferents alternatives a l'hora de considerar l'agent nitrosant a utilitzar i també a la temperatura i pressió de treball. El que sí s'ha de complir estrictament és l'ordre d'addició dels reactius. En aquest procediment les dues reaccions, de nitrosació i de nitració, estan perfectament diferenciades ja que l'àcid nítric (agent nitrant) no comença a ser afegit fins que no s'ha acabat la primera reacció.

La informació que aporta la patent és també molt completa. Es poden saber els rendiments per a cada producte, els temps de reacció i el percentatge de producte que es perd amb les aigües mare i el rentat de les centrífugues. També és important veure que el rendiment dels subproductes és molt baix. En aquest cas el rendiment del orto-nitrofenol és tan sols del 0.6% i s'aconsegueix un rendiment del 92% de para-nitrofenol.

La purificació del para-nitrofenol no s'explica com a procés però es recomana que es porti a terme mitjançant un destil·lació d'arrastre amb vapor. Aquest equip es dissenya amb altres tipus d'eines bibliogràfiques (Wankat, 1980).

- **Purificació del para-nitrofenol**

Tant la purificació del para-nitrofenol com la reacció de hidrogenació/acetilació són extrems únicament d'una patent. No s'ha fet cap procés de selecció previ perquè no hi havia gaire informació al respecte. La patent que s'ha utilitzat ha estat la USPatent 3954892 (Process for the purification of para-nitrophenol).

Aquest procés de purificació té com a punt de partida el corrent de sortida de la operació d'arrastre per vapor. L'objectiu que es vol assolir és el de treballar en un interval de pH de entre 5,4 i 6,4. Aquest pH es regula mitjançant l'addició de bisulfit sòdic sòlid (0,5% p/p) i d'àcid sulfúric fins a arribar a un valor que es trobi a dintre de l'interval abans esmentat.

És necessari cristal·litzar de forma sobtada el líquid un cop s'hagi ajustat el pH per tal de fer una bona separació del para-nitrofenol de la resta de líquid. Segons la informació proporcionada a la patent s'aconsegueix mantenir el producte en estat sòlid mentre que la resta d'impureses romanen en dissolució. Els cristalls que s'obtenen després de centrifugar i rentar són lliures de tars, polinitrofenols i quinones i compleixen amb qualitat Codex de producte intermedi farmacèutic.

- **Reacció de hidrogenació/acetilació**

La hidrogenació i acetilació del para-nitrofenol es van considerar inicialment com a dues reaccions a realitzar per separat. Com ja s'ha esmentat a l'inici d'aquest apartat aquestes dues reaccions es poden realitzar de forma conjunta segons la USPatent 5648535 (Process for preparing acyl aminophenols).

Les condicions d'operació que s'hi especifiquen són les següents:

- La temperatura i pressió d'operació del reactor hauran de ser de 100°C i 34atm respectivament si es vol treballar en condicions òptimes. El temps de reacció per a aquestes condicions és de 32min.
- La reducció del p-nitrofenol es porta a terme mitjançant una hidrogenació catalitzada amb pal·ladi sobre carbó al 3% en pes.
- La introducció de hidrogen al reactor es realitzarà en funció de la pressió interna a la que es trobi el reactor en cada moment. La variació de la pressió vindrà determinada per la velocitat de consum d'aquest reactiu.
- L'agent acetilant és l'acètic anhidre i ha d'estar sempre en excés respecte del producte intermedi (p-aminophenol)
- El medi de reacció ha de ser totalment inert. L'àcid acètic, l'aigua i l'aigua-isopropanol estan indicats per a exercir aquesta funció.
- La reacció d'acetilació comença a donar-se quan ja s'ha hidrogenat un 5% del p-nitrofenol que entra al reactor, per tant, totes dues reaccions s'estan donant a l'hora i a un pH per sota de 7
- Els reactius han d'entrar al reactor dissolts en el medi de reacció. En el cas de l'acètic anhidre la concentració al corrent d'entrada ha de ser del 50%. En el cas del p-nitrofenol la concentració màssica ha de ser del 24%.

- L'entalpia global de la reacció és altament exotèrmica i per tant s'haurà d'eliminar l'excés de temperatura mitjançant un sistema de bescanvi de calor.
- Treballant a la situació òptima s'aconsegueix un 100% de rendiment de la reacció amb un 99,4% de selectivitat del producte d'interès, el paracetamol.
- Necessitat de para-nitrofenol amb alta puresa per a evitar acetilacions paral·leles d'altres productes que no siguin el producte principal.
- Necessitat d'homogeneïtzació i agitació totals per a evitar punts d'alta temperatura que produeixen altres reaccions que no són la reacció principal.
- La qualitat del producte que se n'obté és excel·lent així com la qualitat, puresa, color i aparença.

Aquest patent proporciona, a més de totes les condicions enumerades anteriorment, informació sobre tot el procés de reacció, des del procediment de la posada en marxa del reactor fins a l'aturada del mateix. Inicialment s'especifica que el catalitzador utilitzat per a poder hidrogenar la molècula de para-nitrofenol és pal·ladi sobre carbó amb una concentració màssica del 3%. Aquesta condició és la única que no s'ha aplicat com es proposa amb la patent. La concentració de catalitzador al procés real de fabricació serà del 6% (p/p). Això és degut a que es vol fer la parada del reactor cada 3 mesos i, per tant, s'utilitza una quantitat suficient de catalitzador com per a que funcioni durant tot aquest interval de temps

- **Purificació del paracetamol**

La purificació del paracetamol no s'ha dissenyat a partir de cap procés patentat. Es realitzen dues cristallitzacions en sèrie amb una evaporació de dissolvent entre totes dues. La única informació buscada per a poder dissenyar els equips i condicions d'operació, ha estat la següent:

- *Dades de solubilitat a diferents temperatures del paracetamol en acètic. (Mullin, 2001)*
- *Dades de velocitat de cristallització del paracetamol (Mullin, 2001)*
- *Condicions de operació per a l'evaporació d'un 80% de l'àcid acètic (HYSYS)*

A partir d'aquestes dades bàsiques es dissenya la purificació i assecament del producte final.

1.4 DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE FABRICACIÓ

1.4.1 Introducció

La obtenció del paracetamol té lloc mitjançant tres reaccions bàsiques: nitració del fenol i hidrogenació/acetilació del para-nitrofenol (Figura 1.3). Aquestes últimes reaccions es realitzen de forma conjunta en un mateix reactor. El procés es pot veure resumit al final del capítol mitjançant el diagrama de blocs corresponent.

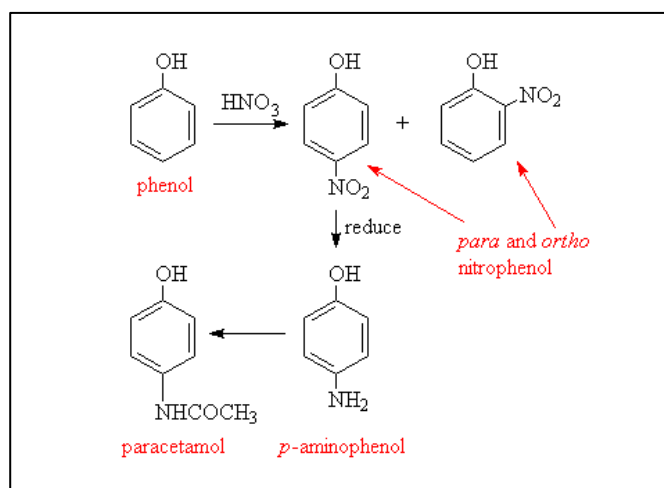


Figura 1.3 .- Mètode tradicional d'obtenció de paracetamol

El procés s'inicia a la *preparativa de reactius*. Aquesta etapa del procés és molt important ja que, a partir de diferents operacions, es prepara el medi de reacció del reactor de nitració (R-401/403). Aquest medi consisteix en una barreja d'àcid sulfúric, àcid nítric i aigua.

La següent etapa és la de *nitració*. Aquesta etapa consisteix a fer reaccionar el fenol amb l'àcid nítric i l'àcid nítric per a obtenir para-nitrofenol. El fenol en aquest procés de producció és la matèria prima principal de la que es parteix per a obtenir el paracetamol. Aquesta etapa de nitració està seguida d'un procés de purificació que inclou les següents operacions: destil·lació per arrossegament amb vapor, precipitació selectiva del producte d'interès, cristal·lització, filtrat i asseccament. D'aquí se n'obté un para-nitrofenol molt pur que passarà a la següent etapa.

L'etapa que continua després de la de nitració és l'etapa de *hidrogenació/acetilació*. El procediment és exactament el mateix que a l'etapa anterior, és a dir, primerament es fa reaccionar el para-nitrofenol amb acètic anhidre i hidrogen en un medi d'àcid acètic glacial i posteriorment es purifica el producte (paracetamol) mitjançant cristal·lització, filtrat i asseccament al buit.

Altres procediments a banda del procés de producció principal són els que es troben a l'àrea de recuperació d'aigües mare (A-500). Aquí l'objectiu és recuperar la major part de l'àcid sulfúric del reactor de nitració. El sulfúric s'utilitza de forma majoritària a tota l'etapa de preparativa de reactius i la de nitració, per tant, és molt important tractar-lo per a poder fer una recirculació gairebé total a l'inici del procés.

També s'ha d'esmentar que, durant la reacció de nitració es formen òxids de nitrogen. Aquests gasos són utilitzats per a tornar a preparar àcid nítric, que és un dels reactius principals al procés de nitració. Sempre hi haurà una part dels òxids de nitrogen que no es puguin recuperar. Aquests, aleshores, s'hauran de tractar mitjançant un reactor catalític ja que són tòxics i no es poden emetre a l'atmosfera a concentracions més altes de les que estan estipulades per llei.

A continuació s'explicarà amb més detall tot el procés de producció de paracetamol i la recirculació d'aigües mare del reactor de nitració

1.4.2 Recepció i emmagatzematge de matèries primeres

Per a obtenir el producte d'interès és necessari utilitzar diferents matèries primeres. L'emmagatzematge dels reactius té lloc en dues zones diferenciades. La primera d'elles (A-100) està destinada a l'emmagatzematge de matèries que no tenen caràcter àcid o bàsic. Aquestes matèries primeres són fenol, pentà, bisulfit sòdic i nitrit sòdic. La segona àrea d'emmagatzematge (A-200) contempla la instal·lació d'aquells tancs que contenen àcids i bases. Tant aquesta àrea com l'anterior aniran aïllades amb una cubeta de retenció per a assegurar la contenció i seguretat en cas de vessament d'algun dels seus productes.

A continuació s'especifiquen les característiques que compleixen la recepció i emmagatzematge de les diferents matèries primeres:

a. Fenol líquid

El fenol és el reactiu del que s'ha de partir per a obtenir el paracetamol. Les necessitats de reactiu pur són de 16,6m³/dia de fenol. Aquest reactiu arriba a la planta en estat líquid, a una temperatura de 50°C, en camions de 30m³ i amb una freqüència de 4 dies/setmana.

L'emmagatzematge es porta a terme en tancs de 20m³ (T-101/102/103) que disposen d'aïllant i serpentí per a aconseguir mantenir la mateixa temperatura a la que arriba el reactiu i evitar la precipitació del fenol. El material de construcció és l'acer AISI304.

b. Bisulfit Sòdic

El bisulfit sòdic s'utilitza per a fer la purificació del para-nitrofenol abans del reactor de hidrogenació/acetilació (R-701). Aquest reactiu s'emmagatzema en forma sòlida a una sitja (ST-102) ubicada a la zona d'emmagatzematge A-200. Les sitges són de 2m³ de volum total i estan construïdes amb acer AISI304. La dosificació d'aquest reactiu al procés es realitza mitjançant un bis sense fi que arriba fins a un dosificador en línia (D-601) situat a l'àrea de purificació del para-nitrofenol (A-600).

c. Nitrit sòdic

El nitrit sòdic s'emmagatzema de la mateixa manera que el bisulfit sòdic. La diferència entres totes dues sitges és que el bisulfit sòdic es transporta fins al dosificador en línia mitjançant un bis sense fi, i el nitrit sòdic es dissol en un tanc (T-105) situat a la mateixa àrea d'emmagatzematge (A-100) per a introduir al procés una dissolució aquosa de nitrit sòdic al 40% (p/p).

El tanc de dissolució consta d'un agitador, per a dissoldre el sòlid en aigua, i té un volum de 200L. La dissolució s'anirà produint contínuament durant tot el dia.

d. Pentà

El pentà és un dissolvent orgànic que s'utilitza per a fer el tractament de l'àcid sulfúric que s'obté a la primera etapa del procés (A-400) i que conté una quantitat important de producte dissolt. Aquest producte es recupera amb una operació d'extracció i una posterior evaporació, per tant, el pentà en forma de vapor que es desprèn de l'evaporació es condensa i recircula.

La recuperació de pentà és pràcticament total i per això es disposa d'un tanc d'emmagatzematge per a realitzar el canvi de dissolvent cada tres mesos i també per a la posada en marxa de la planta. Aquest tanc, per tant, no estarà sempre ple sinó que únicament ho estarà quan sigui necessari el reemplaçament de dissolvent.

El tanc d'emmagatzematge de pentà (T-104) és de 5m³ de volum total i disposa d'aïllament per a evitar l'evaporació del pentà i com a conseqüència l'augment de pressió a dintre del recipient. El material de construcció és l'AISI304.

e. Àcid Sulfúric (67%)

L'àcid sulfúric s'utilitza com a medi de reacció a la primera etapa del procés. Aquest àcid, un cop separat del producte principal, el p-nitrofenol, no s'obté prou concentrat com per a fer la recirculació total directa. A més d'això, aquest àcid té un contingut molt elevat en compostos aromàtics, sobretot en p-nitrofenol, per tant, haurà de ser tractat abans per tal de poder fer una reutilització. Al llarg d'aquest tractament es perd una part de l'àcid sulfúric, que serà igual a la quantitat d'àcid sulfúric fresc nou afegit a l'inici de la primera etapa del procés, és a dir, 4,05m³/dia.

La recepció de l'àcid sulfúric es fa cada 3 dies i l'emmagatzematge es porta terme en 2 tancs connectats entre sí de 10m³ cadascun (T-201, T-202) construïts amb acer Hastelloy C.

f. Àcid Nítric (65%)

L'àcid nítric se subministra cada dos dies i s'emmagatzema en dos tancs connectats en sèrie de 15m³ cadascun (T-203, T-204). El material de construcció és AISI304 i no disposa de cap aïllant ni sistema de bescanvi de calor. En canvi, sí que disposa d'un sistema de compensació de pressió. Aquest sistema té com a objectiu retornar els vapors nitrosos que s'hagin format a l'interior del tanc d'emmagatzematge, com a conseqüència de l'equilibri líquid-vapor, al camió que en aquell moment estigui realitzant la càrrega de l'àcid nítric fresc.

L'àcid nítric també és un dels reactius principals a la primera etapa del procés, concretament al reactor de nitració. Aquest àcid es necessita pràcticament en relació estequiomètrica amb el fenol consumit i, per tant, en no haver afegit gaire excés d'àcid nítric al reactor, la recuperació de reactiu per a una posterior reutilització no és possible.

g. Àcid acètic glacial

L'àcid acètic glacial s'utilitza a la zona A-700 com a reactiu de la reacció de hidrogenació/acetilació (R-701). Aquest àcid també es recupera mitjançant una rectificació (C-700) i una destil·lació sobtada (S-801). És per aquest motiu que només es compra una quantitat d'àcid acètic igual a aquella que es perd durant el procés de recuperació, és a dir, 10,57 m³/dia.

L'àcid acètic glacial se subministra cada 3 dies i s'emmagatzema en dos tancs connectats entre sí de 20m³ cadascun. El material de construcció és l'AISI316.

h. Àcid acètic anhidre

L'àcid acètic anhidre s'utilitza per a acetilar la molècula de p-aminofenol que es forma com a conseqüència de la hidrogenació. Aquest reactiu es consumeix totalment en aquest reactor per a obtenir el producte final, el paracetamol. El subministre haurà de ser igual al consum diari; això suposa una recepció de 30m³ de reactiu amb una freqüència de dos dies i posterior emmagatzematge en tancs d'acer al carboni de 20m³ cadascun.

i. Catalitzador de pal·ladi/carbó

El catalitzador de pal·ladi és necessari per a fer la reacció de hidrogenació/acetilació. Aquest reactor treballa a 34atm de pressió i és per aquest motiu que introduir el catalitzador sòlid contínuament amb el corrent d'entrada és complicat. Es decideix introduir el catalitzador necessari per tres mesos d'operació i fer una parada per a realitzar el canvi de catalitzador esgotat per catalitzador nou.

La quantitat de pal·ladi necessària per aquest interval de temps és de 4kg. Aquest catalitzador s'emmagatzema en una zona habilitada del magatzem de producte final.

Un cop utilitzat aquest producte s'enviarà a un gestor privat de tractament de metalls per a que es faci la recuperació i reutilització d'aquest.

j. Hidròxid sòdic (50%)

L'hidròxid de sodi no és un reactiu per al procés de producció sinó que s'empra per a poder tractar un dels corrents residuals, de caràcter àcid, que es produeixen al llarg del procés, mitjançant una reacció de neutralització.

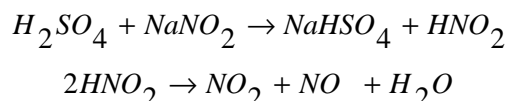
La recepció de l'hidròxid sòdic es fa cada dos dies i s'emmagatzema en un tanc de 2m³ construït d'AISI304.

1.4.3 Preparativa de reactius

La preparativa dels reactius (A-300) està destinada única i exclusivament a obtenir els reactius necessaris per a la reacció de nitració (R-401/403). En aquesta àrea s'acondicionen les matèries primeres per a reintroduir-les de nou al procés de producció de la forma més adequada. Aquesta zona treballa de forma contínua i consta de dues reaccions bàsiques:

- Formació d'òxids de nitrogen (NO i NO₂)

La formació dels òxids de nitrogen consisteix a fer reaccionar l'àcid sulfúric (H₂SO₄) amb el nitrit sòdic (NaNO₂). Els productes que se n'obtenen són el bisulfat sòdic (NaHSO₄) en solució aquosa i els òxids de nitrogen (NO, NO₂) en estat gasós. L'objectiu d'aquesta operació és obtenir tants òxids de nitrogen com es perdin a la reacció de nitració (10%). Aquesta reacció es realitza al reactor R-302 a una temperatura de 35°C i pressió atmosfèrica. Amb aquestes condicions les reaccions que hi tenen lloc són les següents:



La obtenció dels reactius per a aquesta reacció es realitza mitjançant la preparativa prèvia de dues dissolucions. Una de les dissolucions és la de nitrit sòdic al 40% en pes. Aquesta dissolució es prepara en un tanc agitat (T-105) mitjançant l'addició continua d'aigua i nitrit sòdic sòlid emmagatzemat a la sitja ST-101. La segona de les dissolucions prové del tanc T-301. Aquest tanc conté una dissolució d'àcid sulfúric al 70% (aproximadament) preparat a partir de sulfúric fresc al 67% i de sulfúric recirculat procedent de l'àrea 500 (recuperació d'aigües mare).

Pel que fa a la dissolució que resta al reactor (Bisulfat sòdic en dissolució), inicialment s'havia pensat en la possibilitat de realitzar una electrodiàlisi per a que el bisulfat de sodi fos reutilitzat com a àcid sulfúric, però, en estudiar el procediment, es va veure que el procés no sortiria viable econòmicament ni energèticament ja que la quantitat de producte obtingut no era gaire elevat com per a realitzar una operació de separació tant costosa com aquesta. Finalment es decideix que el corrent líquid de sortida d'aquest reactor s'envia cap a un tanc d'emmagatzematge situat a l'àrea 900 per tal de poder vendre'l com a subproducte.

- Formació d'àcid nítrós (HNO₂)

La formació de l'àcid nítrós té lloc al reactor R-301. Aquest reactor consta de dues entrades. La primera d'elles és una dissolució aquosa d'àcid sulfúric al 70% provinent del tanc de mescla T-301. La segona correspon als òxids de nitrogen que han estat recirculats des dels reactors de nitració i que s'emmagatzemen al tanc T-302.

La reacció es realitza a una temperatura de 10°C i 5atm en un medi fortament àcid afavorint d'aquesta manera la hidratació dels òxids de nitrogen, donant-se la següent reacció:



El producte d'aquesta reacció és, per tant, una dissolució d'àcid sulfúric, àcid nítrós i aigua que serà el medi en el qual es desenvolupi la posterior nitració del fenol.

Aquest reactor no treballa amb agitació degut a que l'entrada de gas i de líquid es fa de manera simultània per la part inferior de la columna i aniran reaccionant en co-corrent a mida que avancin al llarg del reactor.

1.4.4 Reacció de nitració

- **Reactor de nitració**

La reacció de nitració es porta a terme mitjançant tres reactors discontinus de tanc agitat seqüencialitzats en paral·lel. Aquesta seqüencialització és de 40minuts, és a dir que, passat aquest temps d'haver començat la reacció en el primer dels reactors, començarà a operar el segon, que a la vegada tindrà també el mateix temps de seqüencialització amb el tercer reactor. Així, el temps total que dura un batch serà igual a la suma dels temps de seqüencialització d'un cicle sencer de tres reaccions en paral·lel, és a dir, 2h.

L'objectiu d'aquest mode d'operació és el de poder operar en continu tant a l'àrea 300 preparativa de reactius com a totes aquelles àrees que siguin posteriors a l'àrea 400 o àrea de nitració. A més, per seguretat, es dissenyen tancs pulmó que absorbeixin les possibles discontinuïtats que puguin haver en aquesta etapa del procés.

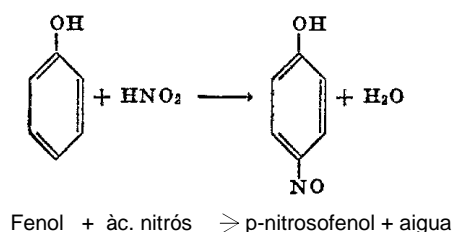
La reacció de nitració és molt complexa degut a que la puresa del producte de la reacció depèn molt de cadascun dels paràmetres que es poden considerar en una reacció, des de proporcions molars de reactius a l'inici de la reacció, fins a l'ordre d'addició dels mateixos. També són molt importants variables com la temperatura i la pressió perquè d'elles depèn la cinètica de la reacció i la formació de subproductes indesitjables. És per tots aquests motius que la recerca de la informació bibliogràfica ha estat un procés molt llarg i difícil.

Els subproductes indesitjables que es poden produir durant la nitració són molt diversos. Els més importants i que donen problemes sovint són les benzoquinones polimeritzades (tars), les molècules polinitrades (2,4-dinitrofenol, àcid pícric,...) i/o l'orto-nitrofenol (isòmer del para-nitrofenol amb un grup nitro $-\text{NO}_2$ a la posició 2 de la molècula de fenol). Tots aquests subproductes fan disminuir en un grau molt elevat la qualitat del producte final de la reacció. És per aquest motiu que es decideix fer la reacció de nitració en dues etapes i amb les condicions que més afavoreixin la formació única del producte d'interès que és el para-nitrofenol.

La operació d'aquest reactor, per tant, es realitza en dues etapes:

1. Reacció de nitrosació del fenol

La primera de les reaccions a la que se sotmet el fenol és la de para-nitrosació. Aquesta reacció consisteix a fer una substitució de l'hidrogen del carboni que es troba a la posició número 4 de la molècula de fenol, per un grup nitrosil (-NO) del qual és donador l'àcid nítrós (HNO_2). Es forma, per tant, com a producte de la reacció el para-nitrosfenol (ppalment.) i aigua. A continuació es pot veure l'estequiometria de la reacció:



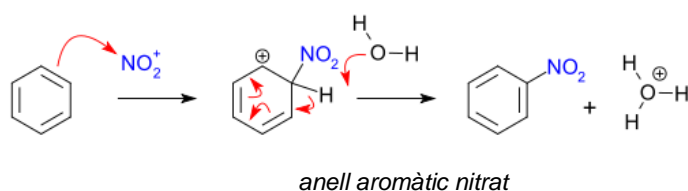
El temps de reacció és de 40min i les condicions d'operació del reactor en aquesta primera etapa és de 10°C i 5atm. El fet que el reactor es trobi sota pressió farà que no es produeixin reaccions secundàries entre els òxids de nitrogen i el nitrosfenol perquè aquests gasos es mantindran en forma de HNO_2 en dissolució. D'altra banda, la baixa temperatura permetrà que la selectivitat de la reacció entre l'àcid nítrós i el fenol sigui més alta.

Aquesta reacció és molt exotèrmica i és per aquest motiu que, per a mantenir el reactor a 10°C es necessitarà un sistema de bescanvi de calor. Aquest sistema consisteix en la instal·lació d'un serpenti pel qual circuli aigua amb un 40% de propilenglicol. Aquest tipus de refrigerant s'utilitza molt per a baixes temperatures perquè té la capacitat de no arribar al punt de congelació fins a assolir temperatures inferiors a -15°C . L'aigua glicolada provindrà d'un chiller situat a l'àrea de serveis (A-1200) al qual no és aconsellable que torni més de 10°C per sobre de la temperatura de sortida. Amb aquesta reacció la temperatura que assoleix el fluid refrigerant és de -10°C .

2. Reacció de nitració del nitrosfenol

En el moment en que acaba la reacció de nitrosació, començarà la despressurització del reactor, per a desplaçar l'àcid nítrós que no hagi reaccionat a la fase gas en forma d'òxids de nitrogen, així com també la circulació del vapor per la camisa del reactor per a assolir una temperatura de 25°C ja que aquesta reacció és endotèrmica. Els gasos que es formen es vehicularan cap al reactor catalític de tractament de gasos (R-404).

Quan el reactor es troba a pressió atmosfèrica i a la temperatura desitjada, comença l'addició de nítric. Aquesta addició tindrà lloc durant 25 minuts de forma lenta i continuada per a afavorir la reacció de nitració entre el nitrosofenol i l'àcid nítric. Les condicions a les que treballa el reactor per a aquesta segona etapa s'apliquen per a que la conversió del nitrosofenol a nitrofenol tingui lloc amb una bona selectivitat i mínima obtenció de productes indesitjables (by-products). El rendiment de para-nitrofenol que finalment s'aconsegueix amb les condicions esmentades anteriorment és del 92%. Aquest producte s'obté en estat sòlid cristal·lí.



- **Centrifugació i neteja del producte**

Després de tot aquest procés de reacció es procedeix a realitzar la descàrrega del reactor. Aquesta descàrrega anirà seguida d'una centrifugació semicontínua per a separar el producte de les aigües mare del reactor. El producte es troba en estat sòlid i està compost majoritàriament de para-nitrofenol a més d'altres subproductes de reacció com l'orto-nitrophenol, el dinitrofenol i altres impureses indesitjables que s'hauran d'eliminar del producte principal.

Per tal d'eliminar les restes d'aigües mare que porta el producte centrifugat s'afegeix a la mateixa operació de centrifugació un rentat amb aigua. Aquest rentat és necessari ja que les aigües mare tenen un alt contingut d'àcid sulfúric i restes d'àcid nítric que no poden ésser arrossegats amb el producte sòlid. La composició en base seca del sòlid que se n'obté es pot veure a la següent taula:

Taula 1.6 .- Composició massica en base seca del producte obtingut a la reacció de nitració

Sòlid recuperat	kg/batch	Composició massica
p-nitrophenol	576,9648	0,9529
o-nitrophenol	4,2454	0,0070
dinitrophenol	8,3150	0,0137
By-products	15,9890	0,0264
Total	605,5143	1

Com es pot veure a la taula anterior, el sòlid que s'obté té un 95% de p-nitrofenol. Les impureses que conté el sòlid corresponen a una barreja de subproductes de reacció que s'eliminaran posteriorment amb el procés de purificació del sòlid.

- **Emmagatzematge de para-nitrofenol en suspensió aquosa**

A banda de veure la composició i el corrent massic que s'obté de producte, també s'ha de contemplar que aquests reactors treballen en discontinu i que, per tant, el producte s'obté puntualment cada 40 minuts. Aquestes discontinuïtats s'absorbeixen abans de començar el procés de purificació mitjançant la instal·lació d'un tanc pulmó (T-401). Aquest tanc disposa d'una entrada d'aigua, una entrada de sòlid i d'agitació mecànica, és a dir, que té la funció de mantenir el sòlid amb una composició del 50% en base seca homogeneïtzat i, a més a més, de proporcionar contínuament el corrent d'entrada a la purificació. La temperatura a la que treballa aquest tanc pulmó és de 50°C per fer de la suspensió aquosa un fluid amb menys viscositat i de més fàcil circulació. Aquesta temperatura s'assoleix amb la instal·lació d'un serpentí a través del qual passa aigua a 70°C aprofitada d'un sistema d'un altre sistema de bescanvi de calor.

Aquesta àrea segrega un corrent d'aigües mare i aigües de rentat procedents de la separació centrífuga. El tractament i recuperació d'aquest corrent s'explicarà amb més detall a l'apartat 1.5.6. *Tractament d'aigües mare*.

Tot el procés de nitració ha d'estar perfectament monitoritzat, automatitzat i controlat. És per aquest motiu que s'ha decidit deixar constància al PID-400 de l'existència d'un PLC que té com a funció principal governar totes les ordres d'actuació de vàlvules automàtiques i de control. Aquest sistema està explicat específicament a l'apartat de *Control i instrumentació* del present projecte.

1.4.5 Purificació del p-nitrofenol

- **Columna de destil·lació per arrastre amb vapor**

La purificació del p-nitrofenol té com a objectiu principal condicionar el corrent de sòlid que procedeix de l'àrea A-400 (nitració) per a la reacció final de hidrogenació/acetilació.

La primera operació de purificació és una destil·lació amb arrastre de vapor. Aquesta operació necessita d'un corrent d'entrada a una temperatura de 80°C. És per aquest motiu que entre el tanc pulmó (T-401) i la columna de destil·lació (C-601) haurà d'haver un sistema de bescanvi de calor que escalfi la mescla des de 50°C fins a 80°C. Aquest bescanviador (E-601) és de doble tub, opera en contracorrent i utilitza aigua a 90°C. El fluid de procés circula pel tub interior i l'aigua pel tub anular.

La destil·lació amb arrastre de vapor té com a objectiu principal separar l'orto-nitrofenol (isòmer del producte d'interès i que té gran afinitat pel vapor) i les impureses de la resta de la dissolució. La columna constarà d'una entrada inferior de vapor a 120°C i 2atm. Aquest vapor es difon mitjançant una placa perforada per tal de ser repartit de la millor manera possible a la zona inferior de l'equip. La dissolució arribarà a una temperatura de 93°C; aquesta és necessària per a arrossegar els compostos que es volen eliminar. El vapor orgànic que se n'obté per caps de columna es condensa i es porta a l'àrea A-1100 de tractament de residus. Una petita part del vapor (6%) condensarà a la columna i donarà prou energia com per a complir amb les condicions de sortida del corrent líquid.

La composició del corrent després de la destil·lació es pot veure a la Taula 1.7:

Taula 1.7.- Balanç de matèria de la columna de destil·lació (C-601)

	Entrada de líquid (Kg/min)	Composició màsica	Sortida caps (Kg/min)	Composició màsica	Sortida cues (Kg/min)	Composició màsica
Aigua	17,90	0,5000	11,09	0,9237	18,61	0,5228
P-nitrofenol	16,77	0,4684	0,017	0,0014	16,75	0,4706
O-nitrofenol	0,109	0,0031	0,108	0,0090	0,001	traces
dinitrofenol	0,224	0,0063	0,0002	traces	0,224	0,0063
Impureses	0,799	0,0223	0,791	0,0659	0,008	0,0002
Total	35,79984874	1,0000	12,0046	1,0000	35,5917	1,0000

- ***Cristal·lització amb precipitació selectiva***

La operació que es troba a continuació d'aquesta columna d'arrastre és la precipitació selectiva i cristal·lització sobtada del p-nitrofenol. Aquesta precipitació es realitza afegint bisulfit sòdic i sulfúric al corrent de sortida de la columna d'arrastre amb vapor. El bisulfit sòdic s'afegeix mitjançant un dosificador i mesclador en línia (D-601/M-601). L'àcid sulfúric s'afegeix mitjançant un segon mesclador en línia (M-603). El que es vol aconseguir és arribar a un pH de entre 5,4 i 6,4 per a mantenir el p-nitrofenol precipitat però, a l'hora, permetre que la resta de subproductes restin dissoltes.

El corrent d'entrada al cristal·litzador (CL-601) estaria a una temperatura de 80°C si no es fes passar aquest a través cap sistema de bescanvi de calor. Aquesta temperatura és massa elevada per a que entri directament al cristal·litzador, el qual es troba a una temperatura de 15°C, per tant s'instal·la un bescanviador de doble tub per a aconseguir un corrent a 40°C.

La cristal·lització de p-nitrofenol, com ja s'ha esmentat, es fa de forma sobtada. Amb aquesta operació s'aconsegueix que el p-nitrofenol que hi ha dissolt a l'entrada acabi de precipitar quantitativament amb un rendiment del 95%. Aquest equip consta d'un agitador tipus àncora i d'una mitja canya a través de la qual passa aigua glicolada a -15°C procedent d'un dels chillers de l'àrea A-1200.

- ***Centrifugació***

El magma que s'obté del cristal·litzador circula per gravetat fins a un sedimentador centrífug que separa els cristalls de les aigües mare. Les aigües mare es tractaran a l'àrea A-1100 juntament amb la resta de residus. Els cristalls passaran a la segona etapa de centrifugació (CT-602) però no sense abans haver passat a través d'un mesclador en línia (M-602) a on s'afegirà aigua neta per a continuar netejant el sòlid.

El segon separador centrífug treballa amb un programa de rentat incorporat, amb la qual cosa, s'aconsegueix netejar i centrifugar a la vegada sense haver de necessitar un altre equip per aquesta operació. El corrent de sòlid net s'assecarà a continuació de la centrifugació.

- ***Assecador rotatori***

L'assecador rotatori (AR-601) té la funció d'assecar el sòlid fins a un contingut d'humitat d'un 11%. Aquest assecatge és necessari ja que la segona part de la planta de producció (A-700/A-800) treballa amb àcid acètic com a dissolvent enlloc d'aigua.

Aquesta operació fa servir nitrogen calent a una temperatura d'entrada de 260°F (126,7°C) i una humitat absoluta de 0,01kg aigua/kg gas sec. El sòlid sec que s'obté a la sortida de l'assecador es transportarà mitjançant un bis sense fi fins a l'àrea A-700. El nitrogen humit que surt de l'equip haurà de passar per dos ciclons en sèrie abans de tornar a l'àrea de serveis A-1200 a on serà deshumidificat i filtrat per tal de poder reutilitzar-lo. L'equip es troba instal·lat amb una inclinació d'aproximadament 10° per a afavorir l'avançament del sòlid.

- **Ciclons**

Els ciclons (CI-601/CI-602) es troben ubicats immediatament després de la sortida de l'assecador. El nitrogen que asseca el sòlid arrossega un 20% de producte que es recupera mitjançant dos ciclons col·locats en sèrie. El primer d'ells és un cicló tipus Lapple que presenta un rendiment d'un 98%. El segon dels ciclons és d'alta eficàcia o tipus Stairmand. Aquest últim cicló presenta un 98,5% de rendiment. El producte sòlid entrarà al mateix bis sense fi que transporta el sòlid procedent de l'assecador rotatori.

1.4.6 Tractament d'aigües mare de nitració

Les aigües mare que se n'obtenen tenen l'origen a la centrífuga CT-401. Aquestes aigües s'han de tractar ja que s'emporten un 14% de producte que no es pot perdre. A més d'això, si no s'eliminessin el compostos aromàtics que contenen, no es podria fer cap recirculació ja que la reacció de nitració és molt sensible a la presència de reactius diferents a aquells que no són necessaris.

- **Tancs pulmó de pentà i aigües mare**

Per tal de que aquesta àrea (A-500) operi també de forma contínua, s'instal·len dos tancs pulmó entre el procés discontinu de nitració i el procés continu de recuperació d'aigües mare.

Un dels tancs pulmó (T-501) té com a funció emmagatzemar les aigües mare que vagin arribant puntualment de l'àrea A-400. El volum d'aquest té un volum de 12,8m³ i està preparat per a emmagatzemar una quantitat de líquid igual a aquella que surt d'un batch. El material de construcció és Hastelloy C.

El segon tanc pulmó (T-502) emmagatzema el pentà que s'està evaporant-condensant contínuament dintre de la mateixa àrea. Aquest tanc és exactament igual que el tanc d'emmagatzematge de pentà net (T-104).

- **Extracció de compostos aromàtics en pentà**

Gran part de la càrrega orgànica que conté el corrent d'aigües mare dels reactors de nitració s'elimina amb un corrent de pentà mitjançant una columna d'extracció. Aquesta operació es realitza a una temperatura de 25°C i pressió atmosfèrica. El pentà té molta afinitat pels compostos aromàtics així com l'hexà i l'heptà, amb la diferència que el pentà té una solubilitat en aigua pràcticament negligible (i a la inversa) i també un punt d'ebullició baix.

La columna d'extracció està en 1/3 del seu volum rebuida amb cadires Berl de tefló. S'escull aquest material perquè segons la Chemical Resistance Guide, aquest és un material que funciona correctament amb tots dos fluids, el pentà i l'àcid sulfúric. S'empren 3900kg/h de dissolvent per aconseguir arribar a un bon rendiment d'extracció. És per aquest motiu que serà molt important fer més endavant una recuperació d'aquest per tal de poder recircular-lo al tanc pulmó inicial T-502.

- **Recuperació del dissolvent**

El pentà que s'obté a caps de la columna d'extracció es mesclarà en línia (M-501) amb una quantitat d'aigua igual al 50% de dissolvent orgànic que hi ha al corrent líquid. Aquesta mescla es fa amb l'objectiu d'extreure els compostos aromàtics a la fase aquosa mitjançant un evaporador (E-501) a 80°C de temperatura. El pentà té un punt d'ebullició (34°C) molt diferent al punt d'ebullició dels compostos aromàtics que s'hi troben dissolts. Aquesta és la característica que s'aprofita d'aquest dissolvent per a fer la separació de la fase aquosa i la fase orgànica sense arrossegar els compostos d'interès.

Aquest evaporador que s'ha esmentat anteriorment utilitza vapor a 150°C per a escalfar la mescla des de 25°C fins a 80°C i fer canviar de fase el pentà i una part d'aigua. Per tant, aquest equip disposa de dues entrades i tres sortides. La primera de les sortides és del vapor de procés (pentà+aigua) que anirà a un condensador total (E-502) per a tornar a la temperatura ambient i poder entrar a un separador de fases (S-502). Del separador de fases s'obté una fase orgànica de pentà, preparat per a ser recirculat al tanc T-502, i una altra fase aquosa que es portarà a fer tractament biològic. La segona de les sortides de l'evaporador és la de líquid de procés. Aquest líquid és una dissolució aquosa concentrada en p-nitrofenol que es portarà al tanc pulmó (T-401). Aquest tanc és el mateix que es fa servir per a emmagatzemar temporalment el producte sòlid de la centrífuga (CT-401), diluït amb aigua i agitat constantment.

Amb tot aquest procediment s'aconsegueix recuperar el producte perdut a excepció d'un 0,3% que se l'emporta el corrent d'àcid sulfúric en forma de traces.

- **Reconcentració de l'àcid sulfúric**

L'àcid sulfúric que surt per la zona inferior de la columna d'extracció es fa passar a través d'un bescanviador de carcassa i tubs que escalfa el corrent líquid fins a 107,5°C. Aquesta és la temperatura a la que treballa la columna de destil·lació sobtada que es troba ubicada a continuació d'aquest bescanviador.

La columna treballa a una temperatura de 107,5°C i a pressió de buit per a separar del sulfúric una part d'aigua i àcid nítric i entrar de nou al procés el més net possible. El sulfúric que se n'obté líquid té una concentració del 70% i una fracció màssica d'àcid nítric de <0,3% per tant és totalment apte per a ésser recirculat al tanc de dissolució (T-301)

El vapor que contínuament es va separant amb la columna flash es fa passar a través d'un condensador (E-504) i posteriorment es tractarà com a residu àcid aquós al reactor de neutralització (R-501).

1.4.7 Reacció de hidrogenació/acetilació

A l'àrea A-700 es disposa d'un reactor (R-701) on es duu a terme l'hidrogenació del PNP amb H₂ i un catalitzador de Pd/C per formar p-aminofenol (PAP) que immediatament després de la seva formació reacciona amb l'acètic anhidre per tal d'acetilar-se i formar el N-acetil-p-aminofenol (APAP), també conegut com paracetamol que és el nostre producte final.

Aquestes dues reaccions es portaran a terme en el mateix reactor, però prèviament s'hauran de preparar els reactius per tal que entrin de la forma més adequada. A continuació s'explica el procediment de preparativa de reactius i de reacció de hidrogenació/acetilació del para-nitrofenol.

- **Preparativa de reactius**

Els reactius es preparen en dos tancs de dissolució independents l'un de l'altre. El primer dels tancs (T-701) té la funció d'homogeneïtzar i emmagatzemar l'àcid acètic recirculat i l'àcid acètic fresc. El volum d'aquest tanc és de 4,2m³ i no consta de cap tipus d'agitació ja que tots dos fluids d'entrada són la mateixa substància i tenen la mateixa concentració. El segon tanc (T-702) s'utilitza per a dissoldre el para-nitrofenol en àcid acètic glacial, per tant ha de disposar d'agitació mecànica, tot i que no és necessari cap sistema de bescanvi de calor. La mescla que se n'obté té una concentració màssica de 35% en para-nitrofenol i és un dels tres corrents de reactiu que entra al reactor.

El material que es fa servir per totes aquelles canonades i equips que hagin d'estar en contacte amb una alta concentració d'àcid acètic glacial són d'acer AISI316.

L'hidrogen és el reactiu que hidrogena la molècula de p-nitrofenol. Aquest prové de bombones pressuritzades que van fins al difusor situat a la part inferior del reactor. Per aquest reactiu no cal cap mena de preparativa prèvia a l'entrada al reactor.

L'acètic anhidre és el reactiu que acetila la molècula de p-aminofenol formada a partir de la reacció entre l'hidrogen i el p-nitrofenol. Aquest reactiu, provinent de l'àrea A-200 d'emmagatzematge d'àcids i bases, es mesclarà amb el corrent d'àcid acètic procedent del tanc de dissolució T-701 mitjançant un mesclador en línia (M-701) específic per a líquids. La mescla que se n'obté està formada per un 50% de cadascun dels productes i és un altre dels corrents d'entrada al reactor.

- **Reactor d'acetilació/hidrogenació**

En aquest reactor es porta a terme la última de les reaccions per a obtenir el paracetamol. La hidrogenació i l'acetilació succeeixen de forma consecutiva en el moment en que comencen a entrar els reactius. Com ja s'ha esmentat en l'apartat anterior, tots dos reactius entren dissolts en àcid acètic que serà el medi de reacció. També entrarà una petita quantitat d'aigua deguda a la humitat del para-nitrofenol procedent de l'assegador rotatori (AR-601) però no perjudica cap de les dues reaccions que hi tenen lloc. A banda d'aquests reactius també s'ha de tenir en compte que s'injecta hidrogen a la part inferior del reactor ja que és l'últim dels reactius principals.

Una de les particularitats d'operació d'aquest reactor es que treballa a una temperatura de 100°C i a una pressió de 34 atm, fet que el fa especialment conflictiu. S'ha de tenir compte que aquestes condicions són necessàries per a una hidrogenació catalítica eficient del PNP, que es la primera etapa de reacció abans d'acetilar-se, reacció que també es veurà afavorida per les altes temperatures i pressió. Aquesta pressió de treball haurà de ser subministrada per les bombes de reactius així com del corrent gasós d'H₂. Totes les condicions d'entrada i operació d'aquest reactor han estat extrets de la USPatent-5648535 (Hoechst-Celanese Corp.). Les reaccions que hi tenen lloc són consecutives i irreversibles ja que es considera que l'acetilació té una cinètica suficientment ràpida com per a fer reaccionar el p-aminofenol (PAP) format durant la hidrogenació.

Una consideració del procés és que una fracció de PAP s'acetila mitjançant el propi medi de reacció, l'àcid acètic. A banda d'això, es té en compte que les conversions tant de p-nitrofenol com de p-aminofenol són del 100% i es pot afirmar que la conversió global del p-nitrofenol a productes finals és del 100%, amb una selectivitat final d'APAP del 99,4%. Per tant,

globalment, amb aquest procés s'aconsegueixen 0,94 mols d'APAP per cada mol de p-nitrofenol que entra al reactor.

Una altre de les particularitats del reactor es que ha de disposar de catalitzador en suspensió, per tant és necessari un agitador que pugui treballar a les condicions esmentades i un filtre a la sortida que mantingui les partícules de catalitzador dins el reactor. Aquest representa un 2% en pes respecte la càrrega total de dissolució, que suposa uns 40 Kg aprox. Un cop cada 3 mesos s'haurà de realitzar una aturada del reactor per tal de canviar el catalitzador, que tot i que treballant en continu presenti una millor resistència a l'enverinament, no té una vida activa molt elevada. Durant aquestes parades la producció del p-nitrofenol roman activa. Aquesta acumulació de producte intermig queda absorbida pel tanc pulmó T-401. Un cop es torni a l'activitat habitual a l'àrea de hidrogenació/acetilació, aquesta augmentarà el seu rendiment de producció per adequar-se a la producció normal menystenint les parades.

La reacció d'hidrogenació és fortament exotèrmica, així com l'acetilació tot i que a menor escala, això provoca unes necessitats de refrigeració molt elevades. En termes de fluxos de calor s'ha de bescanviar un calor global de -52682,89 KJ/min, que únicament es possible amb un conjunt de mitja canya exterior i un serpentí.

El producte resultant de la hidrogenació catalítica i acetilació conjunta és el paracetamol, el medi de reacció (que compren àcid acètic i, en menor quantitat, aigua principalment aportada per la reacció d'hidrogenació) i el acetoxi-acetaminofenol (AAA), que es l'únic by-product indesitjat que es forma en el procés, i que és un derivat de l'APAP. El AAA suposa, però, una fracció molt petita del corrent si s'observa la selectivitat de la reacció global respecte l'APAP, i, tenint en compte que en aquestes quantitats no el considerem un producte indesitjable, no es realitzarà en el procés una separació diferent a la que proporciona la cristallització del producte.

- ***Columna de rectificació de l'àcid acètic***

La sortida de producte del reactor es fa passar per un reboiler (E-701) que fa augmentar la mescla de reacció fins a 118°C. Amb aquest sistema de bescanvi de calor s'evaporarà una part del dissolvent que a continuació s'introdueix en una columna de rectificació (C-701). L'objectiu d'aquesta operació és concentrar el producte i recuperar una bona part del dissolvent per a fer una recirculació.

A la columna de rectificació es produeix un corrent a caps de columna i un altre a cues. El corrent de vapor que surt per caps de columna es condensa (E-703) totalment. Una part es recircula a la columna de nou i l'altra es destina a l'àrea A-900 d'emmagatzematge de productes. Aquest corrent és àcid acètic al 65% que es ven com a subproducte.

El líquid de la columna obtingut per cues és àcid acètic concentrat. Aquest corrent es reutilitzarà, juntament amb l'acètic que es recuperi a l'àrea 800 de purificació, per a fer la dissolució del tanc T-701.

1.4.8 Purificació final APAP

De l'àrea A-700 s'obté una dissolució d'APAP prou pura com per a complir les especificacions de producte marcades per aquesta planta de producció, és a dir, que el producte contingui una quantitat d'impureses inferior al 0,5%. Així, al procés de purificació final el que s'intenta és obtenir un bon percentatge de recuperació de producte mitjançant cristal·litzacions i reconcentracions d'aquest.

- ***Cristal·lització principal***

El procés comença amb el refredament del corrent obtingut del reboiler (E-701) fins a una temperatura de 75,5°C a un bescanviador de doble tub (E-801). Un cop refredat, es trasllada al cristal·litzador principal (CL-801) que treballa a 15°C. Aquesta disminució sobtada de temperatura provoca la precipitació dels cristalls d'APAP fins a la sobresaturació de la dissolució. El magma que es forma es deixa caure per gravetat sobre una centrífuga (CT-801) que separa els cristalls de les aigües mares.

Els cristalls d'APAP que se separen s'envien a dos assecadors que treballen en discontinu alternativament (AB-801/802). Les aigües mares s'envien a una columna de destil·lació flash (C-801) que reconcentrarà el producte que puguin contenir per a, posteriorment, realitzar una recristal·lització.

- ***Destil·lació Flash***

Les aigües mare que s'obtenen al separador centrífug (CT-801) s'envien a una columna de destil·lació flash per a concentrar el producte (APAP). Abans d'entrar a la columna, el líquid haurà de passar per un bescanviador de doble tub (E-801) en el qual es fa un aprofitament energètic entre corrents de procés. La temperatura que s'assoleix és de 100°C que serà la mateixa a la que treballa la columna de destil·lació sobtada.

La columna treballa a pressió de buit aconseguint reconcentrar el producte per a recristal·litzar-lo. L'acètic que s'obté per caps de columna es condensa (E-802) i es recircula al tanc de dissolució d'àcid acètic (T-701).

- **Recristal·lització del paracetamol**

El líquid que se n'obté de la columna de destil·lació flash conté encara una part de producte que es pot recuperar. Primerament es fa passar el líquid per un condensador de doble tub per a fer baixar la temperatura abans d'entrar al cristal·litzador (CL-802). Aquest equip consta d'una mitja canya, amb aigua glicolada com a fluid refrigerant, per a mantenir la temperatura a 15°C. La recuperació del producte es fa de la mateixa manera que en el primer cristal·litzador (CL-801), centrifugant i assecant al buit. La temperatura de les aigües mare es reaprofita de la mateixa manera que es fa amb la primera cristal·lització, és a dir, bescanviant el calor de dos corrents de procés mitjançant un bescanviador de doble tub.

- **Assecament al buit**

L'assecador al buit opera en discontinu i consta d'una camisa per la qual passa vapor d'aigua a 150°C. A aquesta temperatura i aplicant un buit de 200mmHg s'aconsegueix evaporar l'àcid acètic que conté el sòlid fins a un 0,43%. La temperatura a la que surt el sòlid de l'assecador és de 80°C complint amb les següents especificacions:

Taula 1.8.- Composició final del producte assecat

Compost	%màssic
Paracetamol	99,4
Acetoxiacetaminofenol	0,15
Àcid acètic	0,43

1.4.9 Emmagatzematge del paracetamol i altres subproductes

El producte final s'emmagatzema l'àrea A-900. Aquesta àrea consta de 3 sitges per a l'emmagatzemar producte sòlid i des d'aquí anar envasant les bosses de 25kg en bidó de cartró segons l'estocatge i les comandes que hi hagin.

Aquestes sitges no són els únics equips que hi ha en aquesta àrea. Aquí també s'emmagatzemen els subproductes que es venen a banda del producte principal. Al llarg del procés de producció es formen dos corrents nets; un d'ells és bisulfat sòdic al 50% i l'altre és àcid acètic al 65%. Són dissolucions totalment netes de restes d'altres productes de reacció i que es poden vendre a la borsa de subproductes.

1.4.10 Venta del producte final

La planta de producció de paracetamol s'ha dissenyat per a poder assolir un volum de producció d'aproximadament 7000 Tn/any. Essent el volum de mercat fixat en 6000 Tn/any, el rendiment de producció amb el qual es treballarà serà d'un 85%. D'aquesta manera es tenen en compte possibles augments futurs en la producció sense dur a terme canvis en l'immov

1.5 PRINCIPAL ÚS DEL PARACETAMOL

1.5.1 Propietats del paracetamol

El paracetamol (DCI) o acetaminofen és un fàrmac amb propietats analgèsiques, sense propietats anti-inflamatòries clínicament significatives. Actua inhibint la síntesi de prostaglandines, mediadors cel·lulars responsables de l'aparició del dolor. A més, té efectes antipirètics. Es presenta habitualment en forma de càpsules, comprimits o gotes d'administració oral. En l'actualitat és un dels analgèsics més utilitzats al ser bastant segur i no interactuar amb la majoria dels medicaments. És un ingredient freqüent d'una sèrie de productes contra el refredat comú i la grip. La dosi estàndard és segura, però el seu baix preu i àmplia disponibilitat han donat com resultat freqüents casos de sobredosificació. En les dosis indicades el paracetamol no afecta a la mucosa gàstrica ni a la coagulació sanguínia o els ronyons. Els antiinflamatoris no esteroideos (AINEs), no s'associa amb problemes d'addicció, tolerància i síndrome d'abstinència.

Els noms paracetamol i acetaminofen pertanyen a la història d'aquest compost i provenen de la nomenclatura tradicional de la química orgànica, N-acetil a-aminofenol i a-acetilaminofenol. En l'actualitat aquestes denominacions ja no haurien de ser utilitzades, doncs segons les recomanacions de 1993 de la IUPAC, el nom correcte és N-(4-hidroxifenil)etanamida.

El Panadol, que es ven a Europa, Amèrica Llatina, Àsia i Austràlia, és la marca més estesa, venuda en més de 80 països. En Amèrica del Nord, el paracetamol es ven com genèric o sota diverses marques: per exemple Tylenol (McNeil - PPC, Inc), Anacin - 3 i Datriil. En algunes formulacions el paracetamol es combina amb el opioide codeína, de vegades cridat cocodamol. En els Estats Units i Canadà es ven com Tylenol ; en els EUA només es pot adquirir amb recepta mèdica, el contrari que a Canadà. En el Regne Unit i en molts altres països, aquesta combinació es ven amb el nom de Tylex CD i Panadeine. Altres marques disponibles són: Captin, Disprol, Dymadon, Fensum, Hedex, Mexalen, Nofedol, Pediapirin, atamel i Perfalgan. En Espanya pot adquirir-se indistintament com genèric o com medicament "de marca". També es pot combinar amb oxicodona i en EUA es comercialitza amb el nom de Percocet.

Normalment s'administra com dissolució líquida, en comprimits o amb supositori. En adults, la dosi és de 500 a 1000 mg quatre vegades al dia. La màxima dosi diària recomanada és de 4 g. Per sobre de 150 mg/kg en nens o 7,5 g en un adult, pot donar-se hepatotoxicidad (danys al fetge). Les dosis recomanades són segures tant per a nens com per a adults. Donada la seva àmplia disponibilitat, en moltes ocasions la seva eficàcia està infravalorada.

1.5.2 Producció mundial

La producció mundial de paracetamol en l'any 1997 va ser de 55000 T/any. D'aquest valor, els EEUU van produir més de la meitat de la producció mundial, exactament es va produir 35000 T/any. Europa només produïa aquest fàrmac a França, l'empresa Rhodia, però en l'actualitat aquesta empresa ha deixat de produir paracetamol, perquè a China ho produïxen amb preus molt competitius que són impossibles d'igualar per una empresa Europea degut al fet que el preu de mà d'obra és mes elevada i un major control en tema mediambiental.

En l'última dècada la demanda de paracetamol en augmentat tots els països menys Europa occidental i America del nord. En aquestes zones la demanda en aquesta última dècada ha estat plana.

1.6 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA

1.6.1 Normatives

- Normatives d'emmagatzematge on s'estableixen les distàncies mínimes entre les diferents instal·lacions, tancs i les consideracions a tenir en compte a l'hora de dissenyar la seva disposició.
 - ITC MIE-APQ-001: "Emmagatzematge de líquids inflamables i combustibles".
 - ITC MIE-APQ-002: "Emmagatzematge de líquids corrosius".

- Normativa urbanística del polígon industrial Gasos nobles, que es detalla a continuació:

Taula 1.9.- Normativa urbanística del polígon gasos nobles

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

1.6.2 Criteris a seguir en la construcció de la planta

Al realitzar l'implantació dels diferents edificis i àrees de la planta s'han tingut en compte els següents criteris:

- Situar les diferents àrees seqüencialment, d'una forma lògica, d'acord amb l'ordre del procés productiu, i separades per illes amb carreteres al voltant, per a facilitar l'accés.
- No deixar carreteres sense sortida.
- Situar un únic accés a la planta, perquè hagi una millor supervisió de les entrades i sortides des de la porteria.
- Situar la bàscula prop de la portaria, perquè cap camió comenci la descàrrega o surti de la planta sense haver fet la tara.
- Respectar la seguretat dels treballadors situant zones de passada a l'interior dels edificis, voreres, i passos de zebra en la part exterior.

Totes les vies, edificis i places d'aparcament s'han situat d'acord amb els següents condicions:

- Via d'un únic sentit: 5 metres d'ample.
- Via de doble sentit: 10 metres d'ample.
- Diàmetre superior/inferior de gir de camions: 12m/6m.
- Porta d'accés a la planta: 10 metres d'ample.
- Portes d'accés als edificis: 2 metres d'ample.
- Voreres: 1,5 metres d'ample.
- Plaça d'aparcament per a cotxes: 2 x 4,5m².
- Plaça d'aparcament per a camions: 4 x 15m².

Les distàncies mínimes entre equips situats en les àrees de producció són les següents:

- Entre bombes: 1 metre.
- Entre intercanviadores de calor: 1 metre.
- Entre equips de procés: 1,2 metres.

1.6.3 Classificació per àrees

La planta de producció de paracetamol es troba dividida en les següents àrees principals:

- **Àrea 100 : Emmagatzematge de matèries primeres:** Aquesta zona ha estat dissenyada per tal d'emmagatzemar les matèries primeres que es necessiten per a dur a terme el procés sense tenir en compte ni els àcids ni les bases. En aquesta zona de la planta es disposa de diferents tancs d'emmagatzematge en els quals es realitza la contenció de les matèries primeres en estat líquid, com és per exemple el cas del fenol i pentà, els diferents tancs es troben disposats en diferents cubells de retenció per a evitar possibles vessaments dels líquids a la planta. A més a més es disposa de dues sitges d'emmagatzematge de matèries en les quals es disposa de matèries sòlides a utilitzar (Nitrit sòdic i bisulfat de sodi). El transport dels compostos sòlids es realitza mitjançant bisos sense fi i cintes transportadores de sòlids les quals es troben explicats més endavant. Per últim, es té un tanc de dissolució (T-105) en el que s'hi realitza la dissolució del nitrit sòdic per a utilitzar en l'àrea 300.
- **Àrea 200 : Emmagatzematge d'Àcids i bases:** L'objectiu principal d'aquesta àrea de la planta consisteix en realitzar l'emmagatzematge dels diferents àcids i bases que es necessiten per a dur a terme el procés. Es tenen diferents àcids com ara àcid sulfúric, àcid nítric, àcid acètic glacial i àcid acètic anhidre i una base la qual és hidròxid de sodi. L'emmagatzematge d'aquesta àrea es realitza mitjançant tancs d'emmagatzematge per a líquids, tots ells continguts en diferents cubells de retenció.
- **Àrea 300: Preparativa de reactius :** Aquesta zona correspon a la preparació dels reactius que es necessiten per a dur a terme la primera reacció de producció del paracetamol (Reacció de nitració). Primerament es realitza la producció dels òxids de nitrogen en el reactor (R-302) mitjançant la dissolució del nitrit sòdic ,realitzada a l'àrea 100 , i l'àcid sulfúric. Per tal de poder emmagatzemar els gasos es disposa d'un tanc de NOx (T-302). A més a més es disposa d'un reactor (R-301) el qual s'empra per a produir l'agent nitrosant de la molècula de fenol (àcid nitrós).

- **Àrea 400: Reacció de nitració:** En aquesta zona es realitza la primera de les tres reaccions que es donen per a la producció del paracetamol. La nitració es realitzarà en tres reactors discontinus de tanc agitat seqüencialitzats. A més a més en aquesta zona es disposa d'un reactor catalític (R-404) per tal de tractar els gasos de nitrogen que no poden ser re-circulats al tanc de gasos (T-302) i així poder-los descomposar en nitrogen i aigua abans de ser abocats directament a l'atmosfera. En aquesta zona es realitzarà el canvi d'operació de la planta gràcies al tanc pulmó (T-401) el qual permet realitzar el canvi de treball d'operació de discontinu a continu .
- **Àrea 500 : Tractament d'aigües mare :** Aquesta àrea correspon al tractament d'aigües mares procedents de l'àrea 400. L'objectiu principal d'aquesta zona consisteix en recuperar part del para-nitrofenol que es perd en realitzar el rentat de producte provinent dels reactors de nitració. És important realitzar aquesta recuperació ja que es perd al voltant d'un 14% de producte. Per tal de poder realitzar el tractament es disposa dels següents efectes: D'una columna d'extracció en la qual es separa la mescla orgànica de la inorgànica mitjançant pentà, d'una columna de destil.lació sobtada l'objectiu de la qual consisteix en separar el sulfúric de la mescla i així poder re-circular-lo i re-utilitzar-lo, un reactor de neutralització per tal de neutralitzar els diferents àcids que el corrent disposa i d'un separador de fases el qual separa pentà i aigua.
- **Àrea 600 : Purificació del para-nitrofenol :** La següent zona ha estat especificada per tal de realitzar la purificació del para-nitrofenol i així obtenir un producte més pur abans d'introduir-lo a la zona d'hidrogenació-Acetil.liació. En aquesta àrea es tractarà tant el corrent provinent de la sortida dels reactors de nitració (A-400) com el que prové del tractament d'aigües mare (A-500).

Per a tal de realitzar la purificació, es disposa d'una columna d'arrastre de vapor (C-601) per a tal de separar l'orto-nitrofenol i els by-products de la resta de mescla orgànica, d'un cristal.litzador (CL-601) el qual realitza una cristal.lització subita per a produir la precipitació selectiva del para-nitrofenol, de dues centrífugues per a dur a terme la separació sòlid-líquid i realitzar el rentat del producte amb aigua dins la CT-602, d'un assecador de producte mitjançant el pas de nitrogen calent (AR-601) i de dos ciclons en sèrie per a tal d'eliminar possibles partícules sòlids que l'aire contingui i així alliberar l'aire directament a l'atmosfera (CI-601/CI-602).

- **Àrea 700 : Reacció Acetilació-Hidrogenació :** En l'àrea 700 es realitza la segona i tercera reacció de producció de paracetamol, en aquest cas, les dues reaccions es realitzen de forma conjunta en el mateix reactor (R-701). A part de disposar del

reactor es té una columna de rectificació (C-701) l'objectiu de la qual consisteix en realitzar la separació de l'àcid acètic glacial amb l'aigua i així obtenir acètic glacial més concentrat. El paracetamol obtingut en el reactor d'acetilació-Hidrogenació serà enviat a l'àrea 800 per a purificar-lo.

- **Àrea 800 : Purificació paracetamol** : Aquesta àrea ha estat dissenyada per a dur a terme la purificació del producte final, és molt important realitzar aquesta tasca ja que aquest no pot ésser venut si conté un percentatge d'impureses determinat.

Es disposa dels següents equips de procés per a realitzar la purificació: Cristallitzadors (CL-801/CL-802) per a produir la precipitació selectiva del paracetamol, centrífugues de separació sòlid-líquid (CT-801/CT-802), columna de destil·lació sobtada (S-801) per a tal de realitzar la separació de l'àcid acètic glacial que conté el corrent de paracetamol i dos assecadors al buit per a evaporar les restes d'aigua que contingui el sòlid i així poder obtenir el producte en estat sòlid (AB-801/AB-802).

- **Àrea 900 : Emmagatzematge de productes i sub-productes** : Aquesta zona de la planta ha estat dissenyada amb l'objectiu de realitzar l'emmagatzematge de productes (Paracetamol) i sub-productes (àcid acètic al 65% i bisulfat sòdic).

El paracetamol s'emmagatzema en tres sitges de 25 m³ de capacitat per a obtenir producte fins a 3 dies. Un cop es produeix la descàrrega del paracetamol aquest s'envia a la màquina envasadora de productes.

En canvi, els dos sub-productes són disposats en tancs d'emmagatzematge per a líquids. Es torna a remarcar que els diferents tancs es troben separats en diferents cubells de retenció per a evitar vessaments de sub-producte a la planta.

- **Àrea 1000 : Sala de control** : Aquesta àrea de la planta consta en monitoritzar les variables especificades mitjançant el control dels equips a més a més de realitzar un control exhaustiu de les condicions de treball i operació dels equips que requereixen més atenció.
- **Àrea 1100: Tractament de residus** : S'ha dissenyat la zona 1100 per tal de dur a terme el tractament d'aigües residuals que necessiten atenció abans de ser vertides i així complir la legislació vigent. En aquesta àrea es disposa d'un reactor en el qual es realitza el procés Fenton, procés pel qual es fa una oxidació química avançada per a oxidar la matèria orgànica no soluble, l'oxidació dels compostos es realitza mitjançant aigua oxigenada.

Els compostos que no han sigut eliminats en el procés anterior, són enviats a l'EDAR de la planta la qual disposa d'un reactor anòxic, un reactor aerobi i un sedimentador secundari.

- **Àrea 1200: Serveis planta** : En l'àrea 1200 es disposa de tots els serveis de planta els quals seran transportats a les àrees on es necessitin.

En aquesta zona es disposa de les torres de refrigeració, dels grups de fred o chillers, calderes, etc.

- **Àrea 1300: Laboratoris (I+D, producte acabat i matèries primeres)** : L'àrea 1300 consta en la localització dels laboratoris de la planta, en aquests es realitzarà un control exhaustiu de la composició i del grau de puresa tant de les matèries primeres d'entrada com dels productes i sub-productes de sortida.
- **Àrea 1400: Oficines** : L'àrea 1400 correspon a la organització de la planta en els despatxos dels directius, sala de reunions, oficines de recursos humans, etc.

1.6.4 Plantilla de treballadors

La planta de producció de paracetamol treballarà durant 300 dies i 24 hores cada dia. Es realitzarà dues parades per a realitzar tasques de manteniment dues vegades l'any, a més a més s'haurà de dur a terme una parada cada 3 mesos per a carregar nou catalitzador al reactor R-701, concretament, la quantitat a afegir serà el 6% en massa respecte al volum total de reacció.

S'ha decidit que hi haurà 4 torns rotatius de vuit hores diàries, per tant al dia treballaran 3 torns i un tindrà descans. Cada torn estarà constituït per un grup de treball, repartint la plantilla de treballadors en diferents torns. Cada grup de treball farà un torn cada setmana seguint la següent estructuració de la plantilla:

Taula 1.10 . Estructuració dels torns

Torn	Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
1	-	-	8	8	8	8	8
2	8	8	-	8	8	8	8
3	8	8	8	8	8	-	-
4	8	8	8	-	-	8	8

Taula 1.11.- Horaris de treball en funció del torn a realitzat

Horari	Dilluns	Dimarts	Dimecres	Dijous	Divendres	Dissabte	Diumenge
6a.m a 14p.m	Torn 2	Torn 2	Torn 1	Torn 1	Torn 1	Torn 1	Torn 1
14p.m a 22p.m	Torn 3	Torn 3	Torn 3	Torn 3	Torn 3	Torn 4	Torn 4
22p.m a 6 a.m	Torn 4	Torn 4	Torn 4	Torn 2	Torn 2	Torn 2	Torn 2

Com es pot comprovar , cada grup treballa 40 hores setmanals en torns rotatoris, però queden vuit hores setmanals sense cobrir, les quals hauran de ser repartides entre tota la plantilla com a hores extra (torn extra), així doncs s'ha decidit que en el dijous del torn dos es realitzarà aquest torn extra. Totes les hores treballades en cap de setmana es pagaran com les hores extra i les nocturnes tindran un plus extra.

En aquestes vuit hores cada empleat disposarà alternativament de 30 minuts de descans i de 10 minuts cada hora treballada, això implica que l'hora en què s'hagi gaudit del descans de 30 minuts no es disposarà de 10.

Els treballadors estan dividits en diversos grups:

- **Directius i Tècnics:** Hi haurà 10 persones responsables de la gestió de l'empresa i vetllaran pel bon funcionament de la planta des de la gerència, sala de control, direcció,...
- **Especialistes:** Hi Haurà 50 especialistes que estaran dividits entre enginyers industrials, enginyers químics, enginyers informàtics,...
- **Operaris i obrers:** Seran 60 i seran els encarregats d'estar a peu de planta per realitzar qualsevol modificació o qualsevol equip amb la supervisió del cap de planta
- **Administratius:** Són un total de 20 administratius que seran els encarregats de portar la comptabilitat, entrada i sortida de matèries primeres, producte acabat,...

En total, hi haurà 140 treballadors en plantilla els quals com s'ha mencionat anteriorment, s'organitzaran en diversos torns.

1.7BALANÇ DE MATÈRIA

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Temperatura (°C)	20	25	25	25	25	20	70	10	20	20	20	35	35	20	25
Pressió (bar)	1	1	1	1	1	1	6	6	1	1	1	1	1	1	1
Densitat (Kg/m³)	1439	1476	1475	1475	1475	1000	4,5	1486	1050	1037	1279	3,4	1387	1280	3,4
Estat físic	L	L	L	L	L	L	G	L	L	L	L	G	L	L	G
Cabals màssics	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/dia)	(kg/min)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/dia)	(kg/min)
Aigua	1,34	108,70	1,12	110,05	108,93	4440,00		153295,96		4440,00	2,84		4,21	6543,40	
Àcid Sulfúric	2,71	261,30	2,69	264,01	261,31			376292,03							
Àcid nítric		0,98	0,01	0,98	0,97			1410,74					0,00	11874,34	
Àcid acètic anhidre															
Àcid acètic glacial															
Hidròxid de sodi															
Fenol									17760,00	17760,00					
o-nitrofenol															
p-nitrofenol															
Dinitrofenol															
By-products															
Nitrit sòdic											1,89				
Bisulfat sòdic													3,30		
Bisulfit sòdic															
Òxids de nitrogen							10,43					1,04			13517,63
Steam															
Hidrogen (gas)															
Nitrogen (gas)															
Catalitzador (Pd/C)															
AAA															
APAP															
HNO2								18576,85							
NaNO3															
Na2SO4															
Pentà															
Total	4,05	370,98	3,82	375,03	371,21	4440,00	10,43	549575,59	17760,00	22200,00	4,73	1,04	7,52	18417,74	13517,63

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Temperatura (°C)	25	20	20	20	25	25	50	80	80	115	40	120,6	93	93	40
Pressió (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1,7	1	2	2	1	1
Densitat (Kg/m³)	1458	1347	1000	1000	1,64	1436	1088	1059	1062	0,6071	1007	0,558	1042	1042	1042
Estat físic	L	L	L	L	G	L	L	L	L	G	L	G	L	L	L
Cabals màssics	(kg/dia)	(kg/min)	(kg/dia)	(kg/min)	(kg/dia)	(kg/dia)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)
Aigua	171045,32	3,78	23978,37	11,35		189574,06	17,90	17,90	2,76	11,09	11,09		18,61	18,65	18,65
Àcid Sulfúric	376292,03					376292,03									
Àcid nítric	2052,54					2052,54									
Àcid acètic anhidre															
Àcid acètic glacial															
Hidròxid de sodi															
Fenol															
o-nitrofenol	157,51	0,11				4,68	0,11	0,11	0,00	0,11	0,11		0,00	0,00	0,00
p-nitrofenol	24152,01	14,42				3381,28	16,77	16,77	2,34	0,02	0,02		16,75	16,75	16,75
Dinitrofenol	323,12	0,21				23,78	0,22	0,22	0,02	0,00	0,00		0,22	0,22	0,22
By-products	1151,21	0,40				575,61	0,80	0,80	0,40	0,79	0,79		0,01	0,01	0,01
Nitrit sòdic															
Bisulfat sòdic															
Bisulfit sòdic														0,20	0,20
Òxids de nitrogen					1501,96										
Steam												11,80			
Hidrogen (gas)															
Nitrogen (gas)					2490,04										
Catalitzador (Pd/C)															
AAA															
APAP															
HNO2															
NaNO3															
Na2SO4															
Pentà															
Total	575173,75	18,92	23978,37	11,35	3992,00	571903,97	35,80	35,80	5,52	12,00	12,00	11,80	35,59	35,80	35,92

	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45
Temperatura (°C)	20	40	15	15	20	18	20	20	20	58	25	60	45	55	45
Pressió (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	34	1	1	1	1
Densitat (Kg/m³)	1457,9	1188,8	1116	1160	1000	1185	1000	1299	1439	1411	1162	1411	1411	1411	1411
Estat físic	L	L	L/S	S	L	L	L	S	L	S	L	S	L	L	L
Cabals màssics	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)
Aigua		18,65	18,65	6,54	11,32	17,86	15,85	6,74	0,04	2,02	2,02	1,62	0,35		
Àcid Sulfúric		0,08	0,08	0,03		0,03		0,00	0,08	0,00					
Àcid nítric															
Àcid acètic anhidre															
Àcid acètic glacial											29,26				
Hidròxid de sodi															
Fenol															
o-nitrofenol		0,00	0,00	0,00		0,00		0,00							
p-nitrofenol		16,75	16,75	15,91		15,91		15,75		15,75	15,75	12,60	3,15	3,15	0,06
Dinitrofenol		0,22	0,22	0,08		0,08		0,00		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
By-products		0,01	0,01	0,00		0,00		0,00		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
Nitrit sòdic															
Bisulfat sòdic															
Bisulfit sòdic	0,20	0,20	0,20	0,07		0,07		0,00		0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
Òxids de nitrogen															
Steam															
Hidrogen (gas)															
Nitrogen (gas)															
Catalitzador (Pd/C)															
AAA															
APAP															
HNO2															
NaNO3															
Na2SO4															
Pentà															
Total	0,20	35,92	35,92	22,64	11,32	33,96	15,85	22,50	0,13	17,78	47,03	14,22	3,50	3,15	0,06

	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Temperatura (°C)	25	25	20	25	25	100	118	75,6	15	118	25	25	15	15	15
Pressió (bar)	34	1	1	1	1	34	1	1	1	1	34	1	1	1	1
Densitat (Kg/m³)	1065	1082	1049	1049	1049	1064	1134	1134	1141	1,28	0,09	1049	1207,65	1208	1049
Estat físic	L	L	L	L	L	L	L	L	L/S	G	G	L	S	S	L
Cabals màssics	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)
Aigua						6,25				6,25					
Àcid Sulfúric															
Àcid nítric															
Àcid acètic anhidre	10,73	10,73													
Àcid acètic glacial	10,73		7,69	29,26	10,73	45,80	22,90	22,90	22,90	22,90		19,47	6,87	7,91	16,03
Hidròxid de sodi															
Fenol															
o-nitrofenol															
p-nitrofenol															
Dinitrofenol															
By-products															
Nitrit sòdic															
Bisulfat sòdic															
Bisulfit sòdic															
Òxids de nitrogen															
Steam															
Hidrogen (gas)											0,68				
Nitrogen (gas)															
Catalitzador (Pd/C)															
AAA						0,13	0,13	0,13	0,13				0,05	0,07	0,08
APAP						17,01	17,01	17,01	17,01				15,69	16,80	1,31
HNO2															
NaNO3															
Na2SO4															
Pentà															
Total	21,46	10,73	7,69	29,26	10,73	69,19	40,04	40,04	40,04	29,15	0,68	19,47	22,61		17,43

	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75
Temperatura (°C)	100	100	68,5	15	90,0	90	15	15	80	80	60	25	99,7	68	40
Pressió (bar)	0,9	1	1	1	1	0,3	1	1	1	0,2	1	1	1	1	1
Densitat (Kg/m³)	1049	1054	1062	1208	1049	0,6046	1054	1071	1293	0,0089	1020	1049	981	1005	1049
Estat físic	L	L	L	S	L	G	L/S	L	L	L	L	L	L	L	L
Cabals màssics	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)
Aigua													6,25	6,25	
Àcid Sulfúric															
Àcid nítric															
Àcid acètic anhidre															
Àcid acètic glacial	16,03	3,21	3,21	1,04	2,16	12,83	3,21	2,16	0,02	7,89	7,89	32,29	3,44	11,32	12,83
Hidròxid de sodi															
Fenol															
o-nitrofenol															
p-nitrofenol															
Dinitrofenol															
By-products															
Nitrit sòdic															
Bisulfat sòdic															
Bisulfit sòdic															
Òxids de nitrogen															
Steam															
Hidrogen (gas)															
Nitrogen (gas)															
Catalitzador (Pd/C)															
AAA	0,08	0,08	0,08	0,03	0,06		0,08	0,06	0,07						
APAP	1,31	1,31	1,31	1,10	0,21		1,31	0,21	16,80						
HNO2															
NaNO3															
Na2SO4															
Pentà															
Total	17,43	4,60	4,60	2,17	2,43	12,83	4,60	2,43	16,90	7,89	7,89	32,29	9,68	17,57	12,83

	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
T (°C)	25	25	25	25	25	70,5	22	20	80	25	25	25	107,5	40	107,5	40	25
P (bar)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,9	1	1	1	1
ρ (Kg/m³)	1013	1436	626	1571	641	640	725	1000	1,7640	750,4	626	1000	0,583	1006	1543	1015	1355
Estat físic	L	L	L	L	L	L	L	L	G	L	L	L	G	L	L	L	L
Cabals	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)	(kg/min)
Aigua	39,12	131,65		131,62			32,49	32,49	29,73	29,73		29,73	22,92	22,92	108,70	23,35	0,29
H ₂ SO ₄	0,08	261,31		261,31									0,01	0,01	261,30		
Àcid nítric		1,43		1,43									0,45	0,45	0,98		
Acètic Anh.																	
Acètic Glc.																	
NaOH																	0,29
Fenol																	
o-nitrofenol	0,00	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00										
p-nitrofenol	1,00	2,35		0,00	2,34	2,34	2,34						0,00	0,00		0,00	
Dinitrofenol	0,22	0,02		0,00	0,02	0,02	0,02										
By-products	0,01	0,40		0,00	0,40	0,40	0,40										
Nitrit sòdic																	
NaHSO ₄																	
NaHSO ₃	0,20																
NO _x																	
Steam																	
H ₂ (gas)																	
N ₂ (gas)																	
Catalitzador																	
AAA																	
APAP																	
HNO ₂																	
NaNO ₃																	0,60
Na ₂ SO ₄																	0,02
Pentà			65,00		64,99	64,99	64,99		64,99	64,99	64,99						
Total	40,63	397,16	65,00	394,37	67,75	67,75	100,24	32,49	94,72	94,72	64,99	29,73	23,38	23,38	370,98	23,97	0,59

1.8 ESPECIFICACIONS I NECESSITATS DE SERVEI

En aquesta secció es detallaran les diferents necessitats i serveis que requereix l'activitat industrial, així mateix s'especificaran els diferents cabals i consums que es derivin dels serveis.

1.8.1 Aigua de xarxa

Disposem d'aigua de xarxa a peu de parcel·la a una pressió de 4 Kg/cm² i un diàmetre de sortida de 200 mm. Aquesta té la funció de servir les diferents necessitats sanitàries de la planta (lavabos, consum, etc...).

1.8.2 Gas Natural

Aquest servei arriba a la planta amb una pressió de 1,5 Kg/cm³ a peu de parcel·la i és precisa com combustible de les calderes CA-1201 (per generar vapor a 150°C), CA-1202 (per generar vapor a 120°C) i CA-1203 (pe obtenir aigua sobreescalfada a 90°C) de la zona de serveis. A continuació s'observa les característiques tècniques de cada una de les calderes.

El consum de gas natural de CA-1201 i CA-1202 ens la dóna el fabricant, per CA-1203 és calcula amb la potencia calorífica de la caldera obtenim i si dividim aquest valor pel PCI del gas natural (10000 Kcal/h) s'obté el cabal de gas natural necessari (Nm³/h) suposant rendiment 100%. D'altra banda es pot especificar el consum d'aire associat a les calderes, considerant que el gas natural és majoritàriament metà. Segons la reacció de combustió d'aquest, en la qual la relació en volum de O₂/CH₄ és de 2 / 1 podem determinar el cabal d'oxigen, i mitjançant la composició d'oxigen i aire (0,21) la quantitat d'aire necessària.

Taula 1.12 . Consum de combustible

Caldera	Consum de combustible (Nm³/h)
CA-1201	649
CA-1202	130
CA-1203	172,25

Aquest valor és de 951,25 m³ / h amb un excés d'aire equival a 1902,5 m³ / h.

1.8.3 Aigua descalcificada

Es important garantir que l'aigua que es trobi dins el circuit estigui lliure d'ions, ja que en ell es produeix un procés d'evaporació. Si a l'aigua hi ha presència d'ions dissolts, aquests es dipositen i formen incrustacions afectant al funcionament de la instal·lació.

El procés consisteix en passar l'aigua a través d'una resina que bescanvia els ions de calci i magnesi que volem eliminar de l'aigua, per altres que són solubles en aigua. En el moment que la resina es satura, no captarà més ions, llavors s'haurà de regenerar.

La planta disposa de tres equips descalcificadors, un pel circuit de vapor, un altre pel circuit de refrigeració, i un altre pel procés.

1.8.4 Aire comprimit

El principi de compressió es basa en que dos rotors helicoidals giren entre si, el primer amb quatre lòbuls i el segon amb sis estries. El primer rotor gira un 50 % més ràpid que el segon, l'aire es comprimeix entre els rotors i la seva carcassa. Els rotors mai arriben a tocar-se gràcies a la precisió dels engranatges de sincronisme que mantenen una separació suficient entre la superfície dels rotors. No hi ha desgast i no es requereix lubricació a l'espai de compressió.

Es subministra aire sense pulsacions ni oli.



Els extrems dels rotors deixen al descobert l'entrada, l'aire penetra a la càmera de compressió. Queda atrapat al compartiment format per un lòbul mascle i una estria femella. Quan els rotors giren, el compartiment s'estreta comprimint l'aire atrapat, finalment l'aire surt per la sortida.

Utilitzem aire comprimit a una pressió de 6 bars per accionar tota la instrumentació de tota la planta com les vàlvules pneumàtiques de control del procés, per això s'utilitzarà un model de la casa UNIAIR.

1.8.5 Nitrogen

Les avantatges d'utilitzar nitrogen degut a les seves propietats son les següents:

- Gas incolor, inodor, insípid i no tòxic.
- No produeix combustió ni es cap combustible.
- Format per molècules diatòmiques, amb una elevada energia d'enllaç, la qual cosa provoca una gran estabilitat i es justifica el seu us com a inert.
- Te una densitat inferior semblant a la de l'aire, per la qual cosa es fàcil desplaçar-lo.
- La seva solubilitat en els líquids es molt petita e inferior a la d'altres gasos.
- Al ser obtingut amb gran puresa, el seu us quan les exigències en el contingut d'oxigen i/o humitat son estrictes.
- S'elimina a l'atmosfera sense cap problema.

La necessitat de l'ús d'atmosferaes inerts, en aquest cas de nitrogen prové de quatre aspectes principals :

- Seguretat: En aquest camp es pretén eliminar el risc d'inflamacions i explosions en l'emmagatzematge i manipulació de certs productes químics com en la nostra planta.
- Qualitat: Molts productes químics necessiten una atmosfera inert per motius de qualitat, la presència d'oxigen i/o humitat poden causar segons quin sigui el producte molts problemes. Aquests problemes poden venir per reaccions secundaries que poden provocar una pèrdua de característiques del producte desitjat, per tant poden influir en la qualitat final del producte, a mes, poden aparèixer productes inestables. El nitrogen es un gas molt pur i sec, cosa que evita problemes derivats de la presència de l'oxigen i la humitat.
- Producció: En diferents etapes de la fabricació d'un producte es imprescindible la presència d'una atmosfera de nitrogen, ja sigui per motius de seguretat o per motius de necessitats del producte. En aquesta planta necessitem nitrogen en els reactors, separació final, etc...
- Protecció d'equips: Gracies a les atmosferaes inerts no es formen productes corrosius deguts a l'acció de l'oxigen i/o aigua sobre un producte determinat. Aquest fet fa augmentar la duració dels equips en contacte amb el producte, i allarga el temps de vida de les instal·lacions i un estalvi en els costos de manteniment.

Per disposar del nitrogen necessari s'instal·len de dues plantes de separació d'aire proporcionades per l'empresa cryoplants, de les quals sortirà el nitrogen a 2 atm, les quals ens proporcionaran la meitat de la necessitats de nitrogen de la planta, ja que l'altre meitat és recircularà.

1.8.6 Aigua de refrigeració

A la planta de producció de paracetamol, s'utilitza aigua de refrigeració per refredar fluids de procés en diverses àrees. A continuació, s'ha fet un càlcul per veure les torres necessàries per poder abastir a tota la planta.

Sabent que aquest cabal d'aigua és el necessari per abastir les necessitats de la planta, ara només falta saber el calor a dissipar per les torres de refrigeració que ens dona el fabricant. S'obté una calor a dissipar 6290,61 kW. S'escollirà per aquest cas la torre de refrigeració anomenada EWB 4600 (EWK) on 1 torre d'aquest tipus pot bescanviar 7355 kW.

Per tant, és necessitarà una sola torre de refrigeració d'aquest tipus on les seves característiques són descrites a la seva fulla d'especificacions.

Aquesta aigua a 25°C anirà a un grup de fred per baixar la temperatura abans de refrigerar.

1.8.7 Grups de fred

És té un grups de fred per aigua de refrigeració aprofitant l'aigua de refrigeració que a baixat fins a 25°C, gracies a la torre, per fer-la passar per tres chillers, ja que dos d'aquests fan baixar la temperatura a 15°C i l'altre a 5°C. L'aigua a 15°C es aprofitada per refrigerar els diferents equips de bescanvi de calor, mentre que l'aigua a 5°C s'utilitza per mantenir la temperatura al R-701 mitjanant el cabal d'aigua freda per un serpentí.

Per baixar l'aigua de torre a 25°C s'utilitzen dos chillers proporcionats per l'empresa Hitecsa els quals tenen una potencia frigorífica de 1525 KW, l'altre per baixar a 5°C s'utilitza un altre model de chiller també provinent de la mateixa empresa amb una potencia frigorífica de 474 KW.

Les necessitats de l'aigua glicolada a la planta provenen dels reactors de nitració, dels diferents cristal·litzadors de la planta i també per la camisa del reactor d'acetil·lació-hidrogenació on és fa servir aigua glicolada a -15°C per bescanviar als diferents equips de bescanvi dels equips abans esmentats.

Per tot això la planta disposa de dos equip de fred per l'aigua glicolada també proporcionats per Hitecsa. Cada equip necessita una potencia de 1525 KW.

1.8.8 Electricitat

La energia elèctrica s'utilitza per alimentar els equips, les bombes, la instrumentació i el sistema de il·luminació de la planta. Es disposa d'una connexió de 20 KV a peu de parcel·la i s'ha de col·locar una estació transformadora a 380 volts entre fases.

Necessitem unes estacions transformadores perquè la electricitat a alta tensió és més barata que la de baixa tensió, i com que en una planta tenim un gran consum d'electricitat surt més rentable tenir uns transformadors que converteixi la electricitat d'alta tensió en baixa tensió. Des de l'estació transformadora es distribueixen diferents línies trifàsiques a tensió baixa per tota la planta.

Les línies de baixa tensió es distribueixen des de la estació transformadora fins les diferents zones, cadascuna amb la tensió necessària. Son línies trifàsiques amb una toma de terra i quatre conductors, les tres fases i el neutre. Aquestes línies aniran a xarxes soterrades fins als armaris de protecció mitjançant fusibles repartits a cada zona. El material dels cables es coure, i aniran recoberts amb PVC per tal d'aïllar-los.

- Dimensionat de les línies:

Per establir la tensió de cada línia, és calcula la demanda d'electricitat de cada edifici de la planta, tenint en compte la simultaneïtat dels equips de la zona, de forma que és calcula l'electricitat necessària quan coincideixin el mateix nombre d'equips funcionant al mateix temps.

- Taules de consums

A les següents taules es mostra la potència elèctrica requerida, expressada en KW, dels principals equips de la planta que consumeixen electricitat, a més també s'observa l'energia requerida per qüestions d'il·luminació, il·luminació d'emergència, etc,... Els equips es troben agrupats per àrees.

ITEM	NUMERO D'UNITATS	POTENCIA CONSUMIDA PER UNITAT (KW)
AREA 100		
T-105	1	0,006
P-101a	2	0,873
P-102a	2	0,260
P-103a	2	0,839
TOTAL		1,979

AREA 200		
P-201a	2	0,781
P-202a	2	0,536
P-203a	2	0,117
P-204a	2	0,267
P-205a	2	0,273
TOTAL		1,974
AREA 300		
R-302	1	0,044
P-301a	2	8,026
P-302a	2	0,808
P-303a	2	0,321
CP-301a	2	4,479
CP-302a	2	59,931
TOTAL		73,609
AREA 400		
CT-401	1	75
R-401	1	7,8
R-402	1	7,8
R-403	1	7,8
T-401	1	1,287
P-401a	2	0,378
CP-401	2	61,557
CP-402a	2	1,294
TOTAL		162,916
AREA 500		
R-501	1	0,047
P-501a	2	0,438
P-502a	2	0,111
P-503a	2	8,516
P-504a	2	0,457
VP-501	2	4,8
TOTAL		14,370
AREA 600		
C-601	1	0,775
CL-601	1	2,199
CT-601	1	24
CT-602	1	2
P-601a	2	0,122
CP-601a	2	212,6945756
TOTAL		241,791
AREA 700		
T-702	1	4,830
P-701a	2	13,757
P-702a	2	6,955
TOTAL		25,542

AREA 800		
CT-801	1	24
CL-801	1	22,88
CL-802	1	0,077
P-801a	2	0,420
P-802a	2	0,148
P-803a	2	0,145
VP-801	2	19,5
VP-802	2	30
TOTAL		97,170
AREA 1200		
TR-1201	1	44
CH-1201	1	500
CH-1202	1	500
CH-1203	1	500
CH-1204	1	500
CH-1205	1	165
PN-1201	1	500
PN-1202	1	500
CP-1201	1	4,1
bomba jokey	1	2,24
bomba electrica	1	74,6
TOTAL		3289,940
IL·LUMINACIÓ I SUBMINISTRAMENT GENERAL		
ZONA	SUPERFICIE (m2)	Potencia (KW)
A-100	575,176	57,518
A-200	778,333	77,833
A-300 / A-400	415,55	41,555
A-500	540,915	54,092
A-600	384,732	38,473
A-700	384,732	38,473
A-800	384,732	38,473
A-900	753,95	75,395
A-1000	30	3,000
A-1100	384,732	38,473
A-1200	2769,74	276,974
Magatzem	2238,24	223,824
Manteniment	256,872	25,687
Oficines	166,61736	16,662
Pàrking	1887,827662	188,783
Menjadors	449,46	44,946
Laboratori	221,2	22,120
Vestuaris	249,64	24,964
Direcció	451,01934	45,102
Recepció	31,1058	3,111
I+D	153,75204	15,375
TOTAL		1350,833

Així doncs les necessitats totals de la planta ascendeixen fins 5260,12 KW, suposant un $\cos \phi$ de 0,8, s'obtenen 6575,16 KVA.

A partir d'aquest últim valor és decideix quin transformador elèctric utilitzar. És decideixen utilitzar quatre transformadors de l'empresa Ormazábal, que s'ajusta als requeriments de la planta.

o Càlcul de la electricitat necessària en cada zona:

La secció i la intensitat que passarà per cada línia estarà en funció dels requeriments d'electricitat de cada zona. A continuació s'observen els resultats del càlcul de l'electricitat de cada zona tenint en compte la simultaneïtat dels equips.

Els valors normalitzats per les seccions de cables elèctrics estan en mm² : 1.5 ;2.5 ;4 ;6 ;10 ;16 ;25 ;35 ;50 ;70 ;95,120 ;150 ;185 ;240.

Àrea	Potència requerida (KW)	Intensitat (A)	Caiguda de tensió (%)	Longitud (m)	e	Secció (mm ²)	Secció normalitzada (mm ²)
100	59,50	112,99	6,5	181	24,7	20,46	25
200	79,81	151,57	6,5	209	24,7	31,70	35
300 / 400	278,08	528,11	6,5	127,5	24,7	67,37	70
500	68,46	130,02	6,5	95	24,7	12,36	16
600	280,26	532,27	6,5	150	24,7	79,89	95
700	64,01	121,58	6,5	112	24,7	13,62	16
800	135,64	257,61	6,5	37	24,7	9,54	10
900	75,40	143,19	6,5	37	24,7	5,30	6
1000	3,00	5,70	6,5	71	24,7	0,40	1,5
1100	38,47	73,07	6,5	60	24,7	4,39	6
1200	3566,91	6774,21	6,5	129	24,7	874,38	4 x 240
Magatzem	223,82	425,08	6,5	75	24,7	31,90	35
Manteniment	25,69	48,78	6,5	172	24,7	8,40	10
Oficines	16,66	241,83	6,5	288	24,7	69,69	70
Laboratori	22,12						
Vestuaris	24,96						
Direcció	45,10						
Recepció	3,11						
I+D	15,38						
Pàrking	188,78	358,53	6,5	260	24,7	93,27	95
Menjadors	44,95	85,36	6,5	185	24,7	15,80	16

Tant el càlcul del dimensionat de les línies com el d'electricitat necessària estan especificats en la capítol de manual de càlcul.

1.8.9 Grups electrògens

S'ha previst la instal·lació de grups electrògens que assegurin la continuïtat del subministrament en cas de possibles problemes amb la xarxa. S'haurà de garantir, per mitjà de grups electrògens, el subministrament elèctric als equips informàtics, als sistemes de control i el funcionament dels equips i serveis més importants de la planta.

S'ha escollit un grup electrogen, de la empresa Electra Molins, que és capaç de subministrar la potencia necessària per mantenir en funcionament tots els equips de la planta

1.9 DIAGRAMA DE BLOCS