

Projecte Final de Carrera

Planta de producció de freon-13

TAGO CHEMICALS S.A.
Engineering Solutions



Albert Chavarria Miró

Oriol Larriga Ruiz

Gerard cuenca Mumbrú

Alberto Fresno Merino

Alberto Cánovas López



UAB

**Universitat Autònoma
de Barcelona**

Grup 2

**Tutor: Francisco Valero
Barranco**

*“Tant de bo sigui llarg el viatge,
tant de bo que l'equipatge a cada passa pesi menys.
Tant de bo que quan tornis a casa
no t'atraci la llàgrima als ulls, que passis full.
Tant de bo al mentida no vagi mai vestida
i que et porti el vent quan vingui el llop.
Tant de bo que la por no s'abraci a la pena...”*

*Tant de bo sigui et sedueixi el paisatge,
tant de bo que els fantasmes ja no mirin sota el llit,
que la nit no t'apagui l'espelma, que es fongui el neguit
tant de bo et donin fil i no et tallin les ales.
Caure sobre vellut, que no et donis per vençut,
tant de bo un dia el nord sigui sud
i que t'envolti la gent de mirada transparent.*

*Tant de bo sigui llarg el viatge,
tant de bo que mil paraules valguin més que una imatge.
Tant de bo acabi en taules la partida,
que la vida fos més innocent, un joc de nens.
Tant de bo passi un tren cada dia,
que la fi del món no tingui final de via.
Tant de bo quedi pres qui empresona,
que coneguis la felicitat en persona.*

*Tant de bo dos i dos sumin quatre,
tant de bo creure en la màgia no sigui cosa de tres.
Tant de bo que la sang fos germana
i no l'arma dels impotents, que caiguin panyes.
Tant de bo s'obrin totes les portes
i et rebin amb un "Benvinguts!".
Tant de bo que la vida no fos batalla
i que et tregui a ballar quan balla.”*



AGRAÏMENTS

En primer lloc i de forma molt especial, al nostre tutor, Paco Valero, per haver-nos ajudat tantíssim al llarg d'aquests mesos. No només des del punt de vista acadèmic, sinó també des del personal, recolzant-nos i donant-nos ànims en tot moment, així com encoratjant-nos a treballar fort per a obtenir un bon resultat. També agrair-te que ens hagi exigit i que ens hagi fet treballar de valent, doncs gràcies a això estem segurs que hem obtingut un projecte de major qualitat. Finalment, donar-te també les gràcies per haver contribuït al bon ambient que hi ha hagut dintre del grup, així com per l'optimisme i els ànims que ens has transmès en totes les reunions.

Una altra persona que no pot faltar en aquests agraïments és el Carles De Mas, per tota l'ajuda que ens ha proporcionat al llarg del projecte i per estar sempre a la nostra disposició per a qualsevol dubte que ens sorgís.

En el mateix sentit, també volem agrair a la Catalina Cánovas, al Toni Sánchez, al Julián Carrera i al David Gabriel tots els dubtes que ens han resolt al llarg del projecte, així com tots els consells i opinions que ens han donat sobre aquest.

Donar també les gràcies al Ricard Gené per tots els conceptes i coneixements que ens ha aportat al llarg d'aquests mesos, així com per tots els dubtes i consells que ens ha resolt al llarg del projecte.

Agrair també de forma molt especial a tots els professors que han format part de la nostra formació durant aquests 4 anys de grau, ja que és gràcies a ells que ara mateix podem fer entrega d'aquest projecte.

Finalment, volem donar les gràcies a les nostres famílies i amics, per apoiar-nos i donar-nos ànims durant aquests mesos i per estar sempre al nostre costat en els moments difícils.

ÍNDEX



1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE
2. EQUIPS
3. INSTRUMENTACIÓ I CONTROL
4. TUBERIES, VÀLVULES I ACCESSORIS
5. SEGURETAT I HIGIENE
6. MEDI AMBIENT
7. EVALUACIÓ ECONÒMICA
8. POSADA EN MARXA I PARADA DE LA PLANTA
9. OPERACIÓ EN PLANTA
10. DIAGRAMES I PLÀNOLS
11. MANUAL DE CÀLCULS
12. AMPLIACIONS I MILLORES
13. BIBLIOGRAFIA



1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

TAGO CHEMICALS S.A.
Engineering Solutions

“El triunfo de las verdaderas personas surge de las cenizas del error”

1. Especificacions del projecte

1- ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

1.1	DEFINICIÓ DEL PROJECTE	3
1.1.1	OBJECTIUS	3
1.1.2	ABAST DEL PROJECTE	3
1.1.3	BASES DEL DISSENY	3
1.1.4	ESPECIFICACIONS DE LA INSTAL·LACIÓ	4
1.1.5	LOCALITZACIÓ DE LA PLANTA.....	4
1.1.6	NOMENCLATURA DEL PROJECTE.....	15
1.2	MÈTODES D'OBTENCIÓ DEL FREON-13.....	16
1.2.1	PROTOCOL DE MONTREAL	17
1.2.2	SÍNTESI DE FREON-13	19
1.3.3	SELECCIÓ DEL PROCÉS	24
1.3	DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE PRODUCCIÓ.....	25
1.3.1	DIAGRAMA DE BLOCS I DE PROCÉS.....	27
1.4.1	BALANÇ DE MATÈRIA	30
1.4	CARACTERÍSTIQUES DELS REACTIUS I PRODUCTES	35
1.5.1	REACTIUS	35
1.5.2	PRODUCTES	36
1.5	APLICACIONS DEL FREON-13.....	38
1.6	CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA	39
1.7.1	DESCRIPCIÓ QUALITATIVA DE LA PLANTA.....	39
1.7.2	DISTRIBUICIÓ PER ÀREES.....	39
1.7.3	PLANTILLA DE TREBALLADORS	47

1. Especificacions del projecte

1.7	PROGRAMACIÓ TEMPORAL I MUNTATGE DE LA PLANTA.....	52
1.8	SERVEIS DE PLANTA.....	55
1.8.1	AIGUA POTABLE	55
1.8.2	AIGUA CONTRA INCENDIS	55
1.8.3	AIGUA DESCALCIFICADA.....	56
1.8.4	AIRE COMPRIMIT.....	56
1.8.5	NITROGEN	56
1.8.6	ELECTRICITAT.....	57
1.8.7	TORRE DE REFRIGERACIÓ.....	57
1.8.8	CALDERA DE VAPOR	66
1.8.9	EQUIP DE FRED: R-1270.....	72

1. Especificacions del projecte

1.1 DEFINICIÓ DEL PROJECTE

1.1.1 OBJECTIUS

L'objectiu del present projecte és el disseny d'una planta química per a la síntesi de 10.000 Tn/any de Freon-13 (clorotrifluorometa, CClF_3) a partir de tetraclorur de carboni, CCl_4 , i àcid fluorhídric, HF.

Paral·lelament, també es realitzarà un estudi detallat de la viabilitat econòmica de la construcció i operació de la planta, complint en tot moment amb l'actual normativa i legislació.

1.1.2 ABAST DEL PROJECTE

El projecte haurà de constar amb els següents apartats:

- Disseny i especificació de totes les unitats de procés i reacció per a la producció i purificació del Freon-13.
- Disseny i especificació de tots els sistemes de seguretat, higiene i control de la planta per a un correcte funcionament d'aquesta.
- Disseny i especificació de totes les unitats de servei necessàries.
- Avaluació econòmica del projecte
- Disseny físic de la planta
- Estudi de la posada en marxa, parada i operació de la planta
- Compliment de les normatives legals vigents urbanístiques, geogràfiques i mediambientals.

1.1.3 BASES DEL DISSENY

El present projecte contempla les següents àrees:

- Unitats de procés i reacció per a la producció de Freon-13.
- Unitats d'emmagatzematge de matèries primeres i estació de càrrega i descàrrega.
- Emmagatzematge del producte, Freon-13.
- Àrees de serveis
- Oficines, laboratoris i vestuaris
- Àrees auxiliars: aparcament, control d'accessos, contra incendis i depuració d'aigües i gasos.

1. Especificacions del projecte

1.1.4 ESPECIFICACIONS DE LA INSTAL·LACIÓ

La producció de Freon-13 es durà a terme d'acord amb els següents paràmetres:

- o Capacitat de producció: 10.000 Tn/any de Freon-13
- o Funcionament: 300 dies/any de producció

1.1.5 LOCALITZACIÓ DE LA PLANTA

1.1.5.1 Ubicació de la planta

La planta es troba situada al polígon industrial Gasos Noble, al terme municipal de Sabadell. La parcel·la té una superfície total de 70.095 m², dels quals un màxim del 70% són edificables.

La ciutat de Sabadell és, juntament amb Terrassa, la capital de comarca del Vallès Occidental. Amb un total de 207.444 habitants (cens del 2014), Sabadell és la 5a ciutat més poblada de Catalunya. La ciutat ocupa un total de 37.790 Km² i es troba a 20 Km de Barcelona. A continuació, figures 1.1 i 1.2, es pot observar al localització de Sabadell en un mapa polític d'Espanya i de Catalunya:



Figura 1.1 Localització de Sabadell en el mapa polític espanyol.

1. Especificacions del projecte



Figura 1.2 Localització de Sabadell en un mapa polític de Catalunya.

1.1.5.2 Paràmetres d'edificació del polígon gasos noble

D'acord amb la normativa vigent del polígon industrial Gasos Nobles, el disseny de la planta ha de complir amb els paràmetres d'edificació de la taula 1.1:

Taula 1.1 Especificacions de la parcel·la de la planta

EDIFICABILITAT	1,5 m2 SOSTRE/m2 TERRA
OCUPACIÓ MÀXIMA DE PARCEL·LA	75%
OCUPACIÓ MÍNIMA DE PARCEL·LA	20% DE LA SUPERFÍCIE D'OCUPACIÓ MÀXIMA
RETRANQUEJOS	5 m A VIALS I VEÏNS
ALTURA MÀXIMA	16 m I 3 PLANTES EXCEPTE EN PRODUCCIÓ JUSTIFICANT LA NECESSITAT PEL PROCÉS
ALTURA MÍNIMA	4 m I 1 PLANTA
APARCAMENTS	1 PLAÇA/150 m2 CONSTRUITS
DISTÀNCIA ENTRE EDIFICIS	1/3 DE L'EDIFICI MÉS ALT AMB UN MÍNIM DE 5 m

1. Especificacions del projecte

Finalment, a la figura 1.3 es mostra el plànol de la parcel·la on es construirà la fàbrica:



Figura 1.3 Plànol de la parcel·la del projecte

1.1.5.3 Infraestructures de transport

L'elecció d'un lloc òptim on dur a terme el procés de construcció de la planta és un punt essencial en tot projecte d'enginyeria, ja que d'això en dependrà tant el transport de matèries primeres com el de producte ja acabat, tenint aquest fet un efecte directe en la viabilitat econòmica del projecte. En aquest cas, la planta està situada a Sabadell, ciutat localitzada –com s'ha esmentat abans- a tant sols 10 km de Barcelona, fet que proporciona una excel·lent xarxa de comunicacions, tant a nivell estatal com europeu. Aquesta xarxa es pot resumir en 3 grups principals:

1- Infraestructures viàries:

Actualment Sabadell disposa d'una xarxa de carreteres àmplia, estructurada i moderna que permet una ràpida i còmode mobilitat fins i des de qualsevol lloc de la comunitat o país. A la figura 1.4 es presenten les principals autopistes i autopistes de l'entorn:

1. Especificacions del projecte



Figura 1.4.1 Principals vies d'accés per carretera a la ciutat de Sabadell



Figura 1.4.2 Vies d'accés per carretera a la ciutat de Sabadell

2- Infraestructures ferroviàries:

A part del transport per carreteres, Sabadell presenta una molt bona línia de serveis de trens, ja siguin de proximitat (Ferrocarrils de la Generalitat) com de major abast, RENFE (Red Nacional de Ferrocarriles Españoles). A part, també existeix la possibilitat de desplaçar-se fins a Barcelona, on es pot fer ús del AVE o tren d'alta velocitat. A la

1. Especificacions del projecte

figura 1.5 es presenta un mapa amb les principals comunicacions ferroviàries de Sabadell i rodalies:

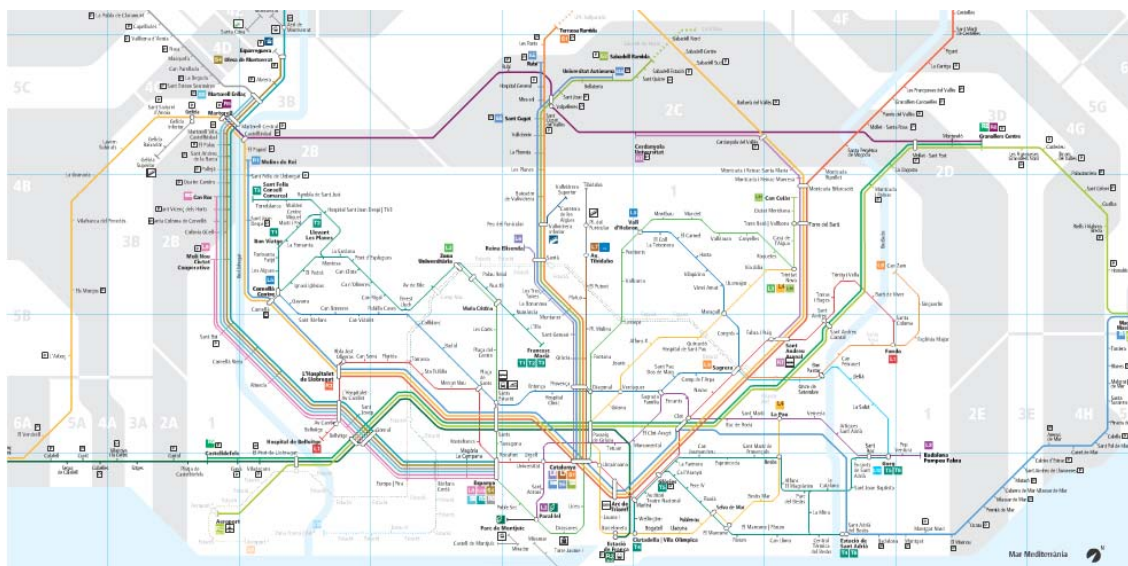


Figura 1.5 Vies d'accés en Ferrocarrils de la Generalitat, RENFE i metro a Sabadell i rodalies.

3- Via marítima:

Tot i que Sabadell no és un municipi coster, sí que es troba relativament a prop de la costa, com pot ser el cas de Barcelona. Així doncs, és important no descartar la opció del transport marítim. En aquest aspecte, Barcelona disposa d'un port ampli i competitiu, trobant-se així a l'avantguarda del transport marítim a nivell europeu. Al tractar-se d'un port ja habituat a realitzar transports de matèries químiques, aquest ja disposa de la tecnologia adequada per a tal fet, convertint-se així en una alternativa real a tenir en compte. A la figura 1.6 es presenta un mapa de la localització i geometria del port de Barcelona:



Figura 1.6 Localització i geometria del port de Barcelona.

1. Especificacions del projecte

4- Via aèria:

De la mateixa manera que en el cas de les infraestructures marítimes, Sabadell no disposa d'un aeroport comercial amb les condicions per a transportar les matèries químiques de la planta a dissenyar. No obstant, es troba a 40 Km de l'aeroport del Prat, fet que també el fa ser una alternativa a tenir en compte.

1.1.5.4 Característiques climatològiques de la zona

Sabadell forma part del clima Mediterrani Prelitoral Central, presentant així uns estius calorosos –temperatura mitjana d'uns 28°C- i uns hiverns frescos –temperatura mitjana d'uns 3°C-. A l'hivern, presenta també dies amb abundant boira, degut a la seva localització en la Depressió Prelitoral. A part, dies puntuals es poden sobrebaixar els 0°C de temperatura a l'hivern, així com superar els 30°C a l'estiu.

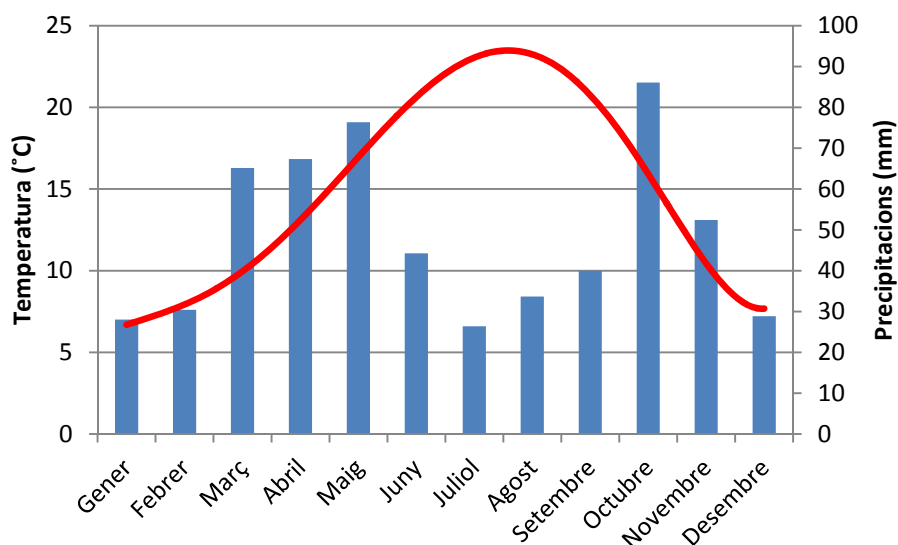
A la taula 1.2 es presenta un resum de les condicions climatològiques a Sabadell des del 2013:

Taula 1.2. Resum de les característiques climatològiques de la zona.

Temperatura mitjana	14,1
Mitjana temperatures màximes	20,8
Mitjana temperatures mínimes	8,3
Temperatura màxima absoluta	38
Temperatura mínima absoluta	-8,9
Precipitació mitjana anual (mm)	599
Velocitat mitjana del vent (m/s)	2,3
Direcció dominant del vent	W
Humitat relativa (%)	72,1

En el gràfic següent es mostra el climograma de la zona en el qual es poden observar les mitjanes mensuals de temperatura i precipitacions del 2007 al 2013. Com ja s'ha comentat anteriorment els mesos d'estiu són els més calorosos i a la vegada els més secs, concentrant-se les majors precipitacions a la primavera i a la tardor.

1. Especificacions del projecte



Gràfic 1.1. Climograma del Vallès Occidental, dels anys 2007 a 2013.

1.1.5.5 Característiques geològiques de la zona

A continuació, figura 1.7, es mostra l'esquema geològic de la zona del Vallès Occidental, on es troba Sabadell. Com es pot observar, el sòl està format majoritàriament per còdols, graves i gresos, amb intercalacions de trams de lutites i conglomerats polimíctics.

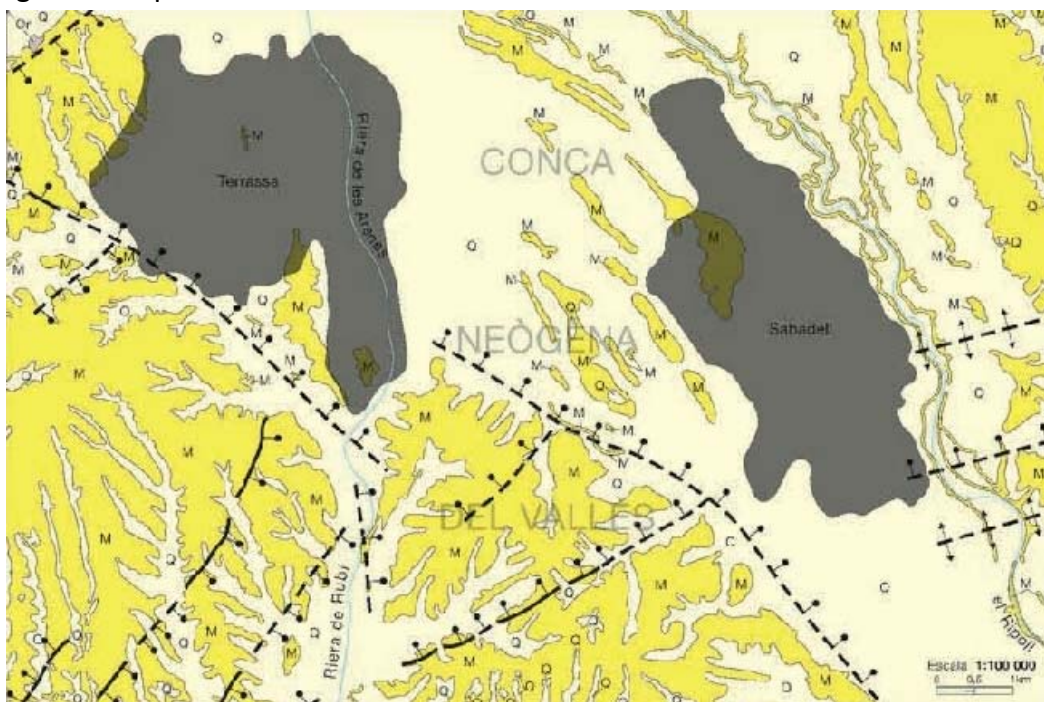


Figura 1.7. Esquema geològic del Vallès Occidental.

1. Especificacions del projecte

1.1.5.6 Característiques sismològiques de la zona

Un altre aspecte fonamental a l'hora de dissenyar una planta química és la sismologia de la zona on es construirà. Recopilar informació d'anys anteriors juntament amb un estudi detallat del risc sismològic de la zona, és un factor clau per tal d'evitar possibles danys i accidents. En aquest aspecte, la legislació vigent a Espanya és la norma de construcció sismoresistent NCSE-02. Aquesta normativa és d'obligatori compliment en aquest projecte, d'acord amb l'article 2 de la NCSE-02:

“El ámbito de aplicación de la norma se extiende a todos los proyectos y obras de construcción relativos a edificación, y, en lo que corresponda, a los demás tipos de construcciones, en tanto no se aprueben para los mismos normas o disposiciones específicas con prescripciones de contenido sismorresistente.”

D'acord amb aquesta normativa, el disseny d'una planta de Freon-13 es troba dins del grup d'obres d'importància especial, ja que una hipotètica destrucció de la fàbrica per causes sísmiques podria ocasionar efectes catastròfics. Finalment, a la figura 1.8 es presenta un mapa sismològic de Catalunya, proporcionat per l'Institut Cartogràfic de Catalunya:

1. Especificacions del projecte

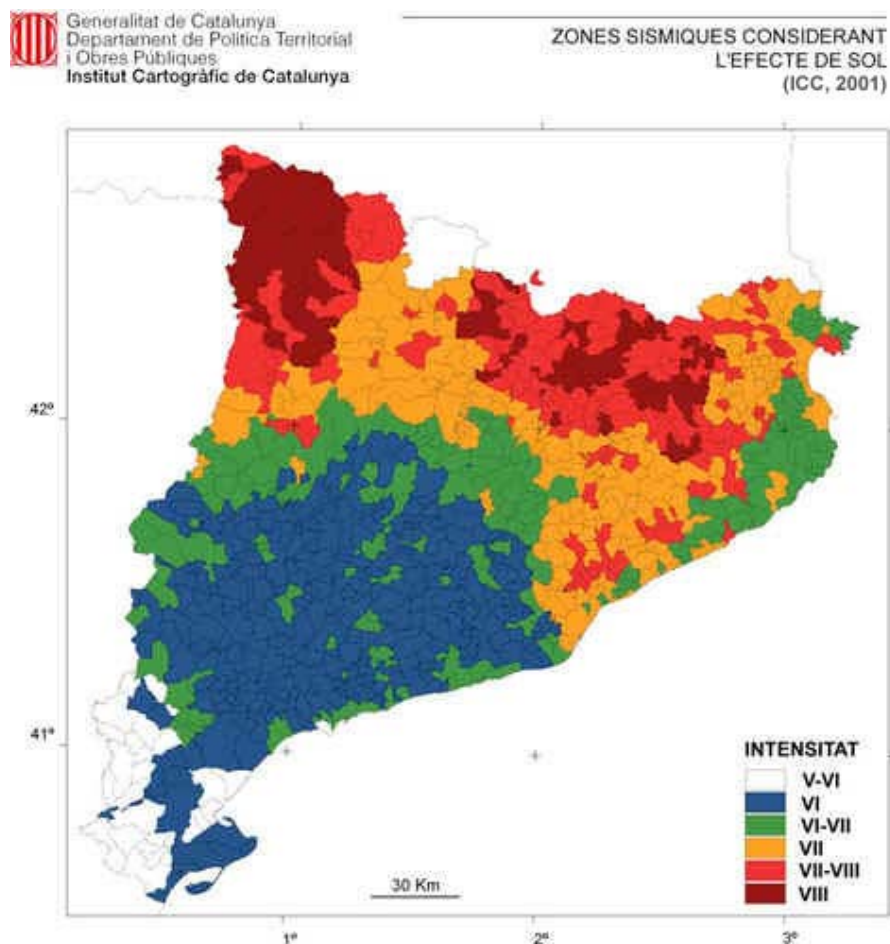


Figura 1.8 Mapa sismològic de Catalunya

1.1.5.7 Característiques hidràuliques de la zona

Pel que fa a la hidrologia de la zona de Sabadell, aquesta ve marcada per la presència del riu Ripoll i pels conseqüents aqüífers. A continuació es presenta la figura 1.9, on es pot observar tal hidrologia:

1. Especificacions del projecte

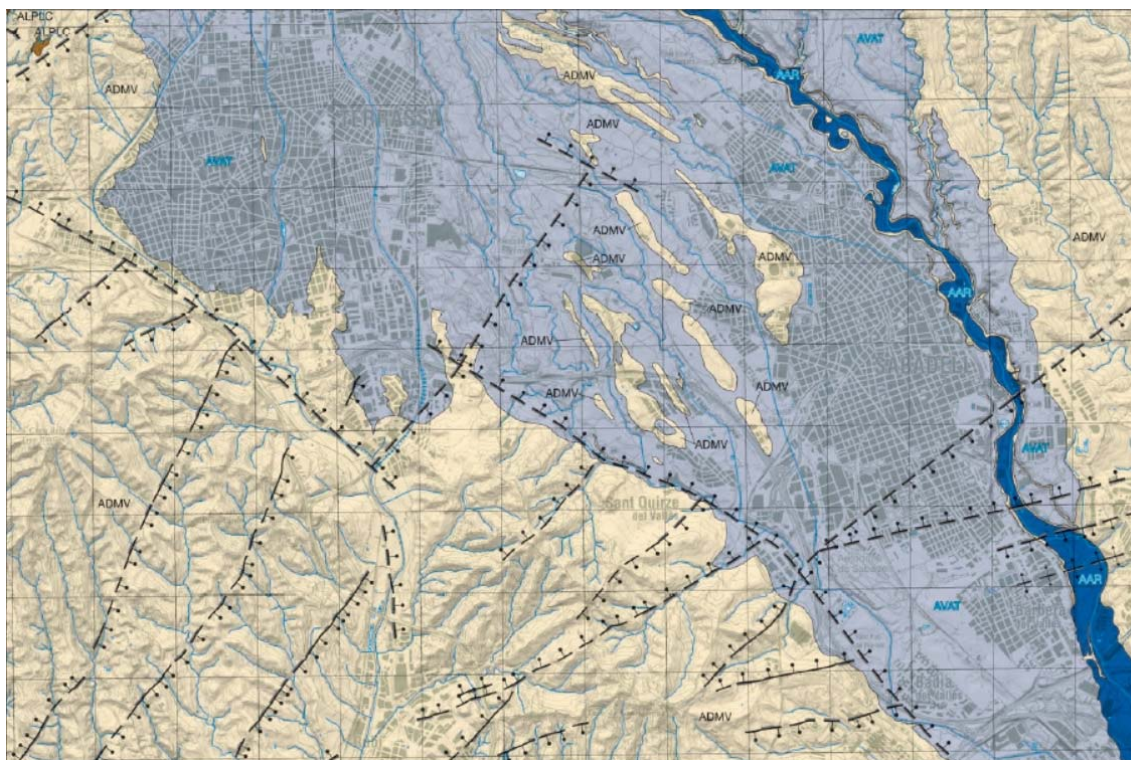
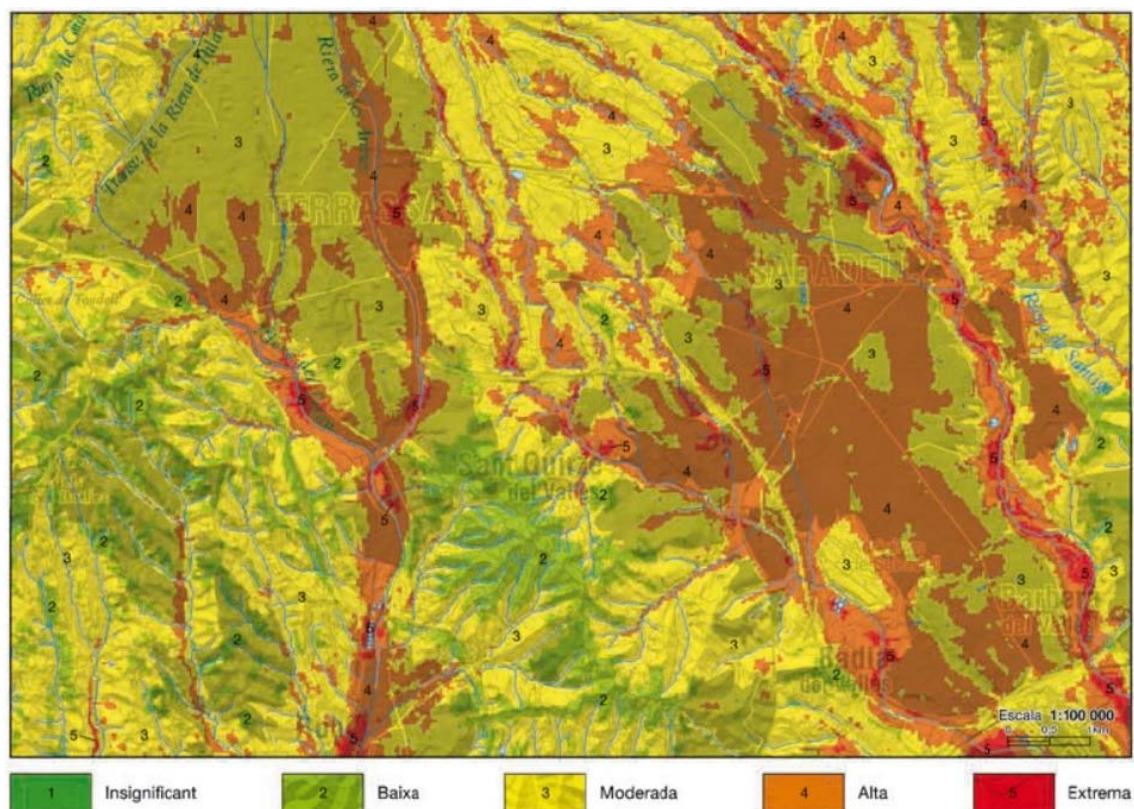


Figura 1.9 Principals aqüífers a la zona de Sabadell.

La diferent naturalesa dels aqüífers ocasiona comportaments diferents pel que fa la percolació de possibles vessaments de contaminants ocasionats per l'activitat industrial. Amb la finalitat de classificar les zones segons el perill de produir un dany al medi ambient per contaminació de les aigües subterrànies, a continuació es presenta un mapa de vulnerabilitat on es mostren els valors obtinguts en l'índex DRASTIC. Com es pot observar en la figura 1.10, a la regió de Sabadell hi ha varies zones on la vulnerabilitat és alta i, per tant, caldrà tenir-ho en compte a l'hora de plantejar mesures preventives pel que fa a evitar vessaments de contaminants.

1. Especificacions del projecte



Valor ÍNDEX DRASTIC	Nivell de vulnerabilitat	Significats dels nivells de vulnerabilitat
Superior a 185	5: Extrema	Indica que l'àrea és vulnerable a la majoria dels contaminants, amb impacte relativament ràpid en molts escenaris de contaminació
Entre 145 i 185	4: Alta	Indica que l'àrea és vulnerable a molts contaminants, excepte aquells fortament adsorbits o immediatament transformats, en molts escenaris de contaminació
Entre 104 i 145	3: Moderada	Indica que l'àrea és vulnerable a alguns contaminants, en especial aquells que són d'aportació contínua
Entre 64 i 104	2: Baixa	Indica que l'àrea només és vulnerable a contaminants conservatius en períodes de temps llargs, amb aportació o lixiviació contínua
Inferior a 64	1: Insignificant	Típica d'àrees amb capes confinants sense flux vertical significatiu

Figura 1.10. Mapa de vulnerabilitat dels aqüífers.

1. Especificacions del projecte

1.1.6 NOMENCLATURA DEL PROJECTE

A continuació es presenten les abreviatures utilitzades durant tot el procés pel que fa a reactius, productes, compostos químics i equips.

Taula 2.3. Abreviatures dels compostos de la planta.

Compost	Abreviació
Tetraclorur de carboni	T
Àcid fluorhídric	F
Àcid clorhídric	C
Freon-11	R1
Freon-12	R2
Freon-13	R3
Aigua	A
Aire	AI
Nitrogen	N
Clorur d'alumini (III)	CA
chromium oxyfluoride	CO
Propilè (R-1270)	P

Taula 3.4. Abreviatures dels equips de la planta

Equip	Abreviatura
Reactor	R
Columna de destil·lació	DC
Tanc d'emmagatzematge	T
Bescanviador de calor	E
Compressor	CO
Disc de reuptura	DR
Mesclador	M
Absorbidor	A
Scrubber	S
Torre de refrigeració	TR
Caldera	C
Sistema d'aire comprimit	AI
Sistema de nitrogen	N
Transformador	TR
Purgador	P
Filtre	F
Bomba	P
Tanc de condensats	TC

1. Especificacions del projecte

1.2 MÈTODES D'OBTENCIÓ DEL FREON-13

El Freon-13, clorotrifluorometà (CClF_3), és una molècula orgànica que forma part de la família dels CFC, clorofluorocarbonis. Es tracta d'una substància no corrosiva i no inflamable que s'utilitza com a refrigerant a nivell industrial. No obstant, arrel de la creixent preocupació per l'efecte dels CFC sobre la capa d'ozó, el seu ús ha estat limitat d'acord amb el Protocol de Montreal.

Pel que fa a la seva preparació, el procés típic de síntesi es basa en la reacció entre àcid fluorhídric (HF) i tetraclorur de carboni (CCl_4), trobant-se aquest últim compost també afectat pel Protocol de Montreal.

1. Especificacions del projecte

1.2.1 PROTOCOL DE MONTREAL

Com s'ha esmentat anteriorment, tant el Freon-13 com el tetraclorur de carboni són dos compostos que han de complir estrictament la legislació vigent. D'acord amb el Protocol de Montreal relatiu a les Substàncies que esgoten la Capa d'Ozó¹:

- o Anexo B – Grupo I: Otros CFC completamente halogenados (CFC-13, CFC-111, CFC-112, CFC-211, CFC-212, CFC-213, CFC-214, CFC-215, CFC-216, CFC-217):

Taula 1.5 Protocol de Montreal referent a la producció de Freon-13.

Aplicable a la producción y el consumo

Partes que no operan al amparo del párrafo 1 del Artículo 5		Partes que operan al amparo del párrafo 1 del Artículo 5	
Nivel básico:	1989	Nivel básico:	Media 1998-2000
Reducción del 20%:	1º de enero de 1993	Reducción del 20%:	1º de enero de 2003
Reducción del 75%:	1º de enero de 1994	Reducción del 85%:	1º de enero de 2007
Reducción del 100%:	1º de enero de 1996 (con posibles exenciones para usos esenciales)	Reducción del 100%:	1º de enero de 2010 (con posibles exenciones para usos esenciales)

A continuació, figura 1.11, es pot veure el resum gràfic del consum aprovat d'acord amb aquest protocol juntament amb les dates de compliment de la normativa:

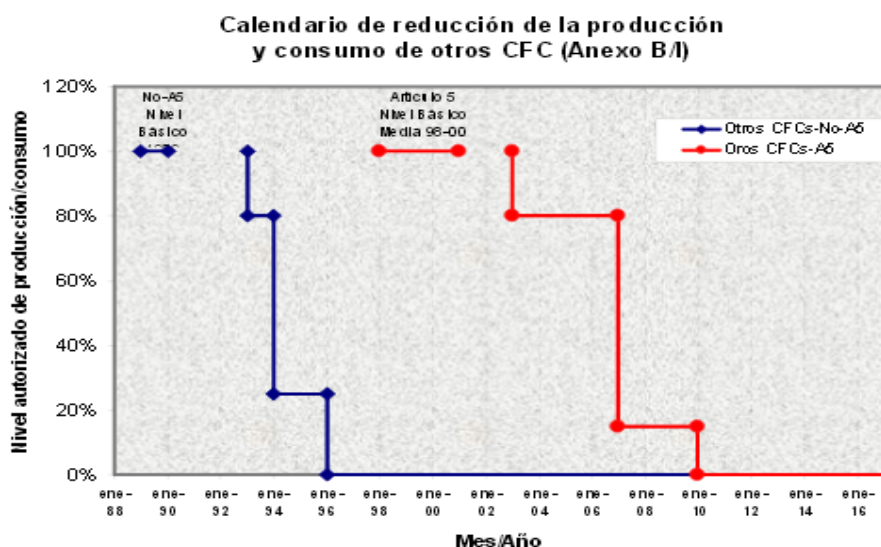


Figura 1.11 Protocol de Montreal referent a la producció de Freon-13.

¹ Veure apèndixs per a consultar el Protocol de Montreal detallat.

1. Especificacions del projecte

o Anexo B – Grupo II: Tetracloruro de carbono:

Taula 1.6 Protocol de Montreal referent a la producció de CCl₄.

Aplicable a la producció y el consumo

Partes que no operan al amparo del párrafo 1 del Artículo 5		Partes que operan al amparo del párrafo 1 del Artículo 5	
Nivel básico:	1989	Nivel básico:	Media 1998-2000
Reducción del 85%:	1º de enero de 1995	Reducción del 85%:	1º de enero de 2005
Reducción del 100%:	1º de enero de 1996 (con posibles excepciones para usos esenciales)	Reducción del 100%:	1º de enero de 2010 (con posibles excepciones para usos esenciales)

De la mateixa forma que en el cas anterior, a la figura 1.12 es pot comprovar gràficament el procés temporal d'aplicació del Protocol de Montreal:

Calendario de reducción de la producción y consumo de Tetracloruro de Carbono (Anexo B/II)

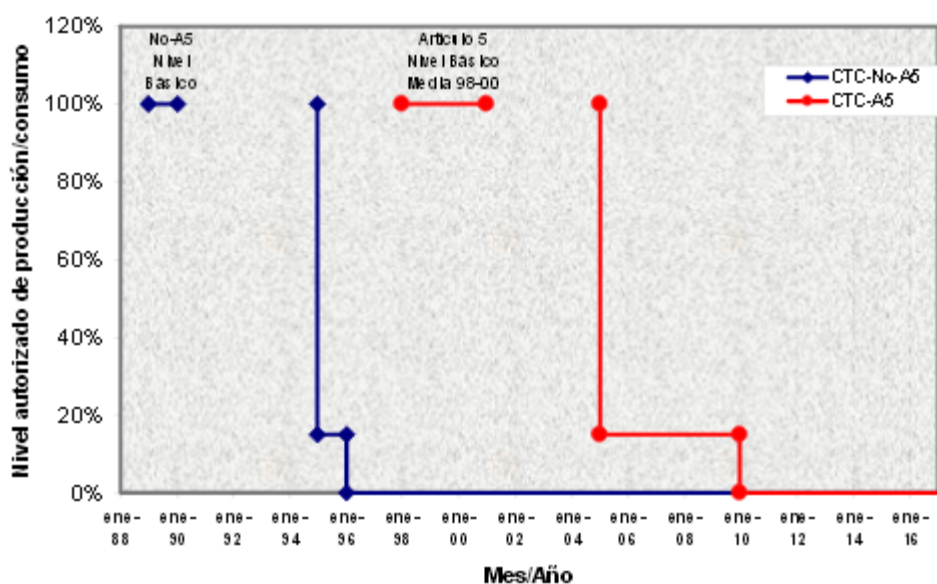


Figura 1.12 Protocol de Montreal referent a la producció de CCl₄.

1. Especificacions del projecte

1.2.2 SÍNTESI DE FREON-13

El principal mètode de síntesi de Freon-13 es basa en la reacció d'intercanvi d'halògens entre un clorocabroni i àcid fluorhídric. Aquest reacció, a fi de no haver de treballar a valors extrems de pressió i temperatura, es dur a terme de forma catalitzada, incrementant a la vegada el rendiment de la mateixa. Industrialment el procés de síntesi es duu a terme tant en fase gas com en fase líquida, presentant ambdós mètodes una puresa final de producte superior al 99.9%.

En el cas del treball, els reactius són CCl_4 i HF . El que succeeix és un triple reacció en sèrie: Un primer procés de fluoració en que un àtom de clor és substituït per un àtom de fluor (CFC-11), un segon procés de fluoració on un segon àtom de clor és substituït per un àtom de fluor (CFC-12) i, finalment, un tercer procés de fluoració en que es substitueix un altre àtom de clor per un de fluor, donant lloc així al Freon-13 o CFC-13. Aquestes reaccions es poden veure il·lustrades a continuació:

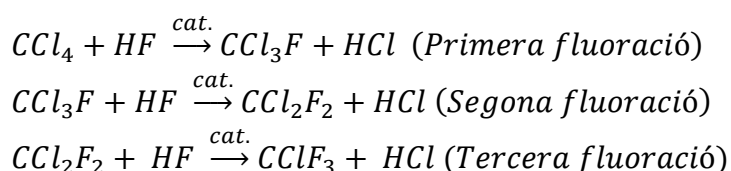


Figura 1.13 Reaccions de síntesi de Freon-13.

A nivell industrial, degut a la dificultat d'assolir una elevada fluoració en un sol pas de reacció es procedeix de la següent forma: Síntesi de CFC-11 i CFC-12, principalment, en un primer reactor, els quals són introduïts en un segon reactor on es transformen en CFC-13. Mentre que en aquest últim reactor sempre es treballa sempre en fase gas, en el primer cal decidir en quina fase es treballarà, donant lloc així als dos possibles processos: fase gas i fase líquida.

1.2.2.1 Síntesi de Freon-11 i Freon-12. Procés en fase líquida

El primer procés dut a terme per a la síntesi de fluorocarbons es basava en una fluoració en fase líquida en la qual es posava en contacte SbF_3 amb el clorocarbó. La sal d'antimoni resultant de tal procés es recuperava i refluorinava en un procés en discontinu. Estudis posteriors, van permetre que el procés evolucionés cap a una reacció en dues etapes:

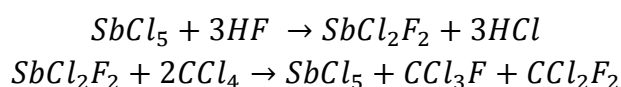


Figura 1.14 Reaccions de síntesi de Freon-11 i Freon-12 en fase líquida.

1. Especificacions del projecte

Cap a finals dels anys 20, aquest procés de síntesi es va desenvolupar en continu per primer cop, introduint un cabal constant de CCl_4 i HF , la relació molar dels quals venia determinada en funció de la quantitat de CFC-11 i CFC-12 que es volgués aconseguir. La sal d'antimoni en el procés continu segueix sent l'agent fluorinant, però, com les dues meitats del cicle en discontinu es duen a terme simultàniament, el contingut en fluor del "catalitzador d'antimoni" assoleix un estat estacionari. Aquesta reacció s'il·lustra a continuació:

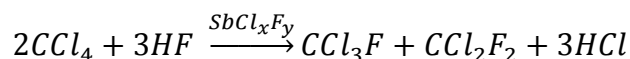


Figura 1.15 Reacció de síntesi de Freon-11 i Freon-12 en continu.

Finalment, a la figura 1.16 es presenta un diagrama de procés per a la síntesi de Freon-11 i Freon-12 en fase líquida:

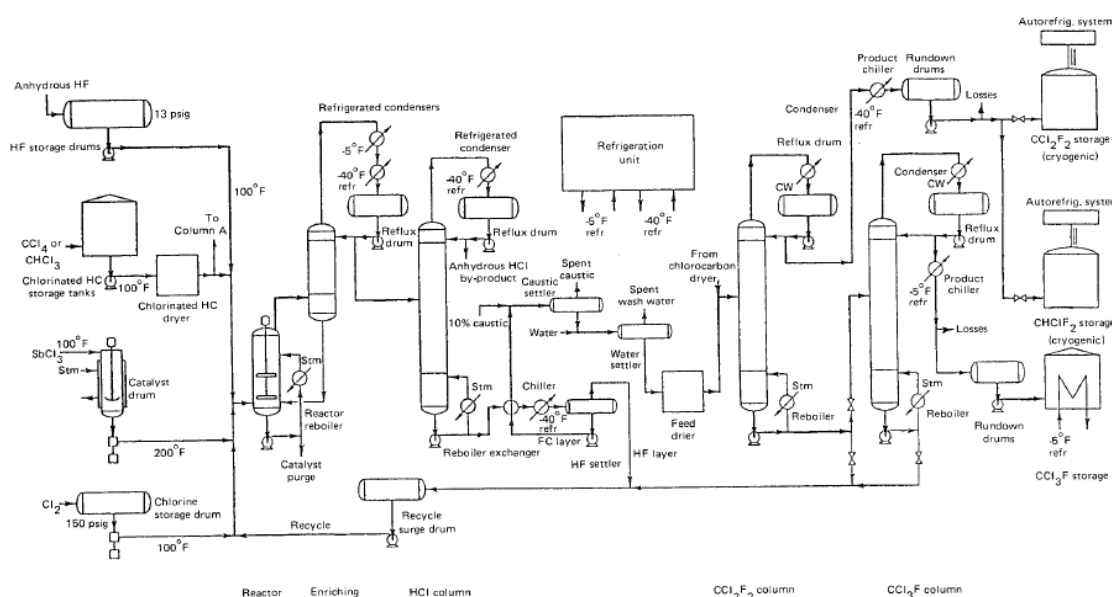


Figura 1.16 Diagrama de procés per a la síntesi de Freon-11 i Freon-12 en fase líquida.

El procés consisteix, de forma simplificada², en un reactor escalfat el qual conté el catalitzador dissolt (SbCl_5) en un medi amb tetraclorur de carboni i àcid fluorhídric, juntament amb els possibles intermedis fluorats que es puguin formar. Tant el CCl_4 com el HF són introduïts de forma continua al reactor (generalment un tanc agitat),

² Tant en el procés en fase gas com en fase líquida, es descriurà únicament la part del reactor, ja que és un ambdós presenten les principals diferències. El procés de purificació i la segona reacció seran descrites en el següent apartat.

1. Especificacions del projecte

amb la possibilitat també d'introduir un cabal d'entrada de clor si es volgués obtenir FC-113 o FC-114.

Aquest procés en fase líquida, genera els productes en fase gas –CFC-11, CFC-12 i HCl-, els quals són introduïts directament a un torre de destil·lació situada just a sobre del reactor, de tal forma que el líquid arrossegat en aquest corrent cau per gravetat, tornant a entrar així a la zona de reacció. Aquest corrent de reflux conté CCl_4 no reaccionat, intermedis fluorats i traces de catalitzador d'antimoni. Així doncs, es pot definir el reactor com el rebóiler de la columna de destil·lació.

Patents basades en aquest procés [7] i [8], indiquen que es poden assolir condicions de procés satisfactòries per un ampli rang de treball:

o Pressió	0 – 500 lb/in. ² gauge
o Temperatura reactor	45 – 200°C
o Concentració catalitzador	10 – 90 % en pes
o Temperatura retirada de producte	-30 – 100°C

No obstant, basades en els exemples d'aquestes mateixes patents, condicions realistes d'operació a nivell comercial serien d'uns 100 lb/in.² gauge, refredament del producte de sortida entre -5 i 15°C, una temperatura de reactor d'uns 80°C i una concentració de catalitzador del 60% en massa.

Un punt molt important és que si els corrents d'entrada contenen impureses, l'activitat del catalitzador es pot veure reduïda sensiblement.. Així doncs, un control i monitoratge intensiu de la concentració de catalitzador en tot moment és un paràmetre clau per al bon funcionament del procés.

En resum, el procés en fase líquida es caracteritza per la seva simplicitat i flexibilitat d'operació i no presenta problemes de sobrefluoració, és a dir, en un sol pas de reacció no hi ha risc d'arribar a formar el tetraclorur de fluor. A part, presenta uns excel·lents resultats, presentant a nivell industrial rendiments de fins al 99% respecte als cabals d'entrada.

1. Especificacions del projecte

1.3.2.2 Síntesi de Freon-11 i Freon-12. Procés en fase gas

De la mateixa forma que en el cas anterior, són nombrosos els estudis i patents publicats pel que fa a la síntesi de fluorocarbonis mitjançant el procés en fase gas [9] i [10]. En aquest cas, les principals variables operacionals són la temperatura, pressió, temps de contacte i la relació de cabals d'entrada de reactius. D'acord amb aquestes mateixes patents, a continuació es presenten els rangs típics de treball:

o Pressió	0 – 300 lb/in. ² gauge
o Temperatura reactor	100 – 500°C
o Temps de residència	1-60 s
o Ratio HF/CCl ₄	0,5-10 : 1

La principal diferència entre ambdós mètodes, és que el fet de treballar en fase gas fa que es vegin afavorides les fluoracions d'alt grau; és a dir, en el cas de produir CFC-11 i CFC-12, al treballar en fase gas també s'obté un determinat cabal de CFC-13.

En el cas que el que interessi sigui precisament aquesta sobrefluoració del clorocarboni, es recomana treballar [3] amb un sistema de reacció adiabàtic, ja que a elevades temperatures es veu afavorida la substitució d'àtoms de clor per àtoms de fluor. En aquest cas, és totalment indispensable un control exhaustiu no només de la temperatura, sinó de tot el perfil de temperatures al llarg del reactor. A part, també cal esmentar que el cabal de producte obtingut, al contenir una gran quantitat d'energia calorífica, permet la seva utilització com a fluid calent en pràcticament qualsevol punt de la planta on es necessiti realitzar un bescanvi de calor, donant lloc així a un dels aspectes més importants en el dia d'avui a l'hora del disseny enginyeril: el reaprofitament energètic.

Pel que fa al disseny del reactor, són nombroses les configuracions possibles: tubs verticals en paral·lel amb el catalitzador³ a l'interior, llit fix empaquetat, o un llit fluïditzat, similar als crackers catalítics de la indústria petroliera.

Finalment, a la figura 1.17 es presenta un diagrama de procés per a exemplificar aquest mètode⁴.

³ La discussió el catalitzador adequat es durà a terme en l'apartat 1.3

⁴ Cal esmentar que el present diagrama, basat en una modificació del procés Montedison, introdueix metà i clor gas, en comptes de clorocarboni, com a reactius. No obstant, com el que es pretén és exemplificar el procés, aquest fet no té rellevància.

1. Especificacions del projecte

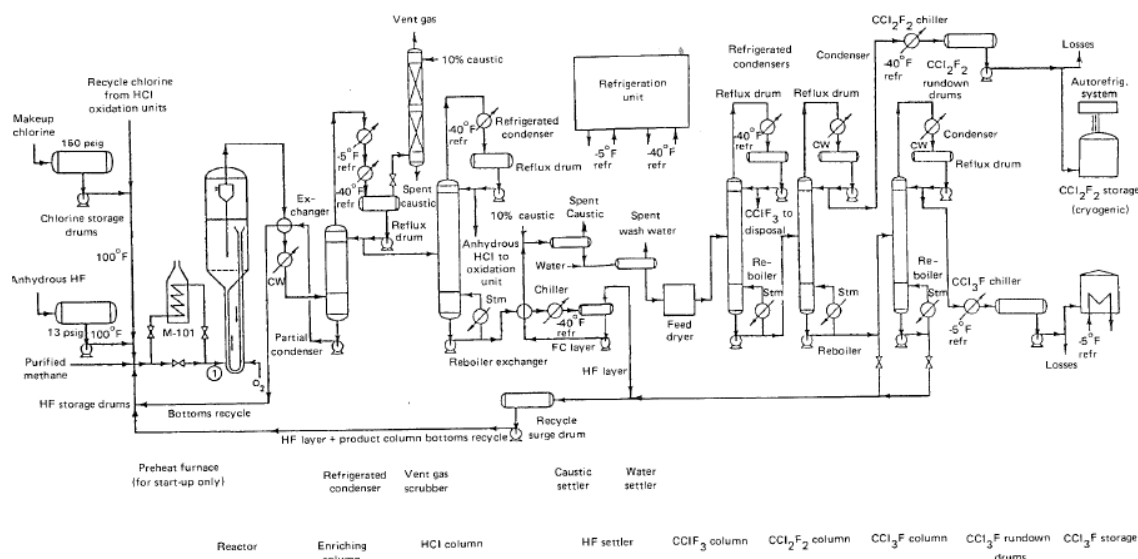


Figura 1.17 Diagrama de procés per a la síntesi de Freon-11, Freon-12 en fase gas.

1.3.2.3 Síntesi de Freon-13

Un cop obtinguts el Freon-11 i Freon-12 del primer procés de reacció i passats per un procés de purificació, el qual es detallarà en l'apartat 1.3 del present treball, es procedeix al tercer pas de fluoració, és a dir, a la síntesi de Freon-13. Aquest mètode està basat en la patent 2,426,637 [5], la qual descriu un mètode eficaç i econòmic per a tal propòsit. La patent descriu un mètode en fase gas, amb una reacció catalitzada amb $AlCl_3$, tal com s'il·lustra a continuació:

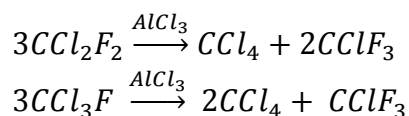


Figura 1.18 Reacció de síntesi de Freon-13

Un punt clau en aquest procés és que els cabals d'entrada al reactor han de ser anhidres, <0.001% en pes d'aigua, ja que en cas contrari tindrà lloc una pèrdua d'activitat molt elevada del catalitzador. El catalitzador pot ser tant bromur d'alumini com clorur d'alumini, tot i que la patent presenta un millors resultat per a aquest últim. El catalitzador més adequat és en forma de partícula de 4 fins a 30 mesh, essent trobant-se l'òptim comercial entre 4 i 10

mesh. A part, es recomana que utilitzi com a suport un portador inert, tal com sílica o gel d'alúmina.

1. Especificacions del projecte

Cal esmentar que pot tenir lloc una reacció secundària, la qual originaria una pèrdua de l'activitat del catalitzador, com es presenta en la figura 1.19:

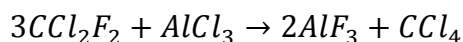


Figura 1.19 Reacció de desactivació del catalitzador

Aquest reacció origina, doncs, una disminució del rendiment de reacció, degut a la pèrdua de catalitzador. No obstant, aquesta té lloc a temperatures baixes i amb un alt cabal d'entrada de clorofluorometans. Amb un control exhaustiu d'ambdós paràmetres, és possible minimitzar aquest efecte.

D'acord amb la patent, és essencial passar els reactius en fase gas a través del catalitzador sòlid a una temperatura d'entre 100 i 175°C, trobant-se l'òptim entre 120 i 135°C. A temperatures per sota de 100°C, el rendiment cap a Freon-13 és molt baix i, a la vegada, té lloc una important pèrdua de catalitzador. Per contra, a temperatures superiors a 175°C, té lloc el procés de sublimació del catalitzador, a part que incrementa molt la dificultat de control del sistema.

Pel que fa als cabals d'entrada, els clorofluorometans haurien d'entrar amb una ratio de 0.1-2.5 pounds per cada pound de catalitzador, trobant-se l'òptim entre 0.19 i 0.5 pounds per pound de clorur d'alumini. Respecte a la pressió, el procés s'ha de dur a terme entre 5 i 150 psia, oferint uns millors resultats un rang d'entre 15 i 30 psia.

1.3.3 SELECCIÓ DEL PROCÉS

D'acord amb tot l'exposat anteriorment, s'ha decidit treballar amb el procés en fase gas. Aquesta decisió es fonamenta en el següent: degut a que l'objectiu del treball és produir Freon-13, és a dir, assolir un grau de fluoració elevat, s'escull el procés en fase gas, ja que precisament aquesta –el grau de fluoració– és la principal diferència entre ambdós mètodes. És més, d'acord amb les dades bibliogràfiques utilitzades per al disseny, al treballar amb fase gas s'obtindrà ja una certa quantitat de Freon-13 en el primer dels reactors.

Pel que fa a les dades, condicions, equips etc. aquests s'explicaran detalladament en els següents apartats, referenciant-se sempre la bibliografia emprada per a prendre les decisions.

1. Especificacions del projecte

1.3 DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS DE PRODUCCIÓ

El procés per a la síntesi i purificació de Freon-13 es pot dividir en 4 principals apartats:

- a) Síntesi de Freon-11, Freon-12 i part de Freon-13.
- b) Purificació dels 3 Freons de la part de reactius no reaccionats i subproductes del procés.
- c) Síntesi de Freon-13 a partir de la fluoració dels Freons 11 i 12 del primer pas.
- d) Purificació del Freon-13.

A continuació es descriuen els 4 apartats anteriors de forma detallada:

a.1- Evaporació dels reactius d'entrada al primer reactor, HF i CCl_4 , i preescalfament d'aquests fins a 150°C .

a.2- Compressió a 1,5 atm, mescla d'ambdós reactius i entrada al primer reactor. Aquest reactor es tracta d'un llit fix empaquet operant en règim adiabàtic i que utilitza com a catalitzador *chromium oxyfluoride*.

a.3- D'acord amb les equacions de reacció anteriorment descrites, del primer reactor s'obté un cabal amb Freons 11, 12 i 13, HF i CCl_4 no reaccionats i HCl format com a producte, tots ells en fase gas. Un punt clau en aquest pas és que la reacció que ha tingut lloc és exotèrmica, de tal forma que al treballar amb un reactor adiabàtic s'obté un cabal a 250°C , el qual té una elevada energia calorífica. Això permet fer una recirculació energètica d'aquest corrent, de tal forma que actua com a fluid calent als bescanviadors descrits en el pas a.1.

b.1- Un cop fet el reaprofitament energètic es procedeix a la recuperació del CCl_4 no reaccionat. Aquest pas té lloc en una columna de destil·lació, la qual presenta un rendiment de separació molt elevat, degut a l'elevada diferència de volatilitat entre els diferents compostos. Així doncs, per cues de columna es recupera el CCl_4 , els qual es recircula a l'inici del procés.

b.2- Per cap de columna s'obté un corrent gasós –ja que a fi d'optimitzar l'energia que gasta el condensador, es treballa a unes condicions tals que tan sols condensi el CCl_4 amb la resta de compostos. Aquest passen al següent pas de purificació, el qual consta d'una segona torre de destil·lació a pressió, concretament a 10 atm. En aquesta torre se separen el HCl i el Freon-13 per caps i la resta de compostos per cues.

b.3- El Freon-13 i el HCl del destil·lat de la segona columna, també en estat gasós, són escalfats i, seguidament, passen per una torre d'absorció amb aigua, en la qual l'àcid clorhídric s'absorbeix donant lloc a una solució aquosa de HCl al 30% en massa, la qual

1. Especificacions del projecte

té molt bona sortida comercialment. Pel que fa al Freon-13, al ser un compost orgànic de molt baixa solubilitat ($<1/1000$ a les condicions de treball), aquest no s'absorbeix en aigua. Així doncs, el corrent gasós de Freon-13 que surt de la torre d'absorció, s'envia a un sistema de compressió-refredament i s'emmagatzema ja com a producte final. Cal esmentar que l'absorció de HCl en aigua té una calor de dissolució molt elevat, fet que permet reutilitzar aquest corrent energèticament. Concretament, la torre opera de forma isoterma a $61,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. D'aquesta forma s'obté el cabal necessari per a ser utilitzat com a fluid calent al bescanviador tipus kettle de la columna DC-502. Un cop fet el reaprofitament energètic, es passa el HCl per una zona d'acondicionament i s'envia a emmagatzemar.

b.4- El corrent de cues que s'havia obtingut en la segona torre de destil·lació es porta a un bescanviador de calor tipus kettle, on s'evapora totalment emprant com a fluid tèrmic el corrent de HCl anteriorment descrit. Tot seguit, el flux passa al següent equip de purificació, el qual es tracta d'una columna d'adsorció, on s'absorbeix el HF no reaccionat en una reïna de sodium polyacrilate (Amberlite IRA 67, comercialment), de tal forma que ja només queden els Freons 11 i 12, els quals es porten cap al següent pas de síntesi.

c.1- La mescla de Freons és escalfada a 126°C i s'introdueix al segon reactor. Aquest es tracta d'un reactor multitubular tipus carcassa i tub, que utilitza com a catalitzador clorur d'alumini. En aquest cas opera de forma isoterma, és a dir, manté la temperatura a 126°C , essent necessari, doncs, un sistema de retirada de calor, motiu pel qual és idoni dissenyar el reactor amb geometria tipus carcassa i tubs, ja que proporciona una elevada àrea de bescanvi facilitant així extreure el calor de reacció.

c.2- D'aquest reactor s'obté un cabal que conté la part de reactius no reaccionats – Freons 11 i 12-, el producte Freon-13 i CCl_4 com a subproducte. Similar al realitzat en el primer procés de reacció, en aquest cas també s'obté un corrent amb una elevada energia calorífica, el qual és reaprofitat energèticament per a escalfar el corrent gasós de HCl i Freon-13 de la primera etapa de purificació abans que entrin a la torre d'absorció.

d.1- De la mateixa forma que en la purificació anterior, el primer pas torna a ser la recuperació del CCl_4 , per tal de recircular-lo a l'inici del procés. Aquesta té lloc en una torre de destil·lació, similar a la descrita en el punt b.1. Així doncs, per cues de columnes s'obté un corrent líquid de CCl_4 i per caps un corrent gasós amb els 3 Freons.

d.2- Finalment, es procedeix a la separació dels 3 Freons. Aquesta té lloc en una quarta columna de destil·lació, la qual opera a 10 atm degut al baix punt d'ebullició del Freon-13. D'aquesta forma, s'obté per cues un corrent líquid amb Freons 11 i 12, el qual passa

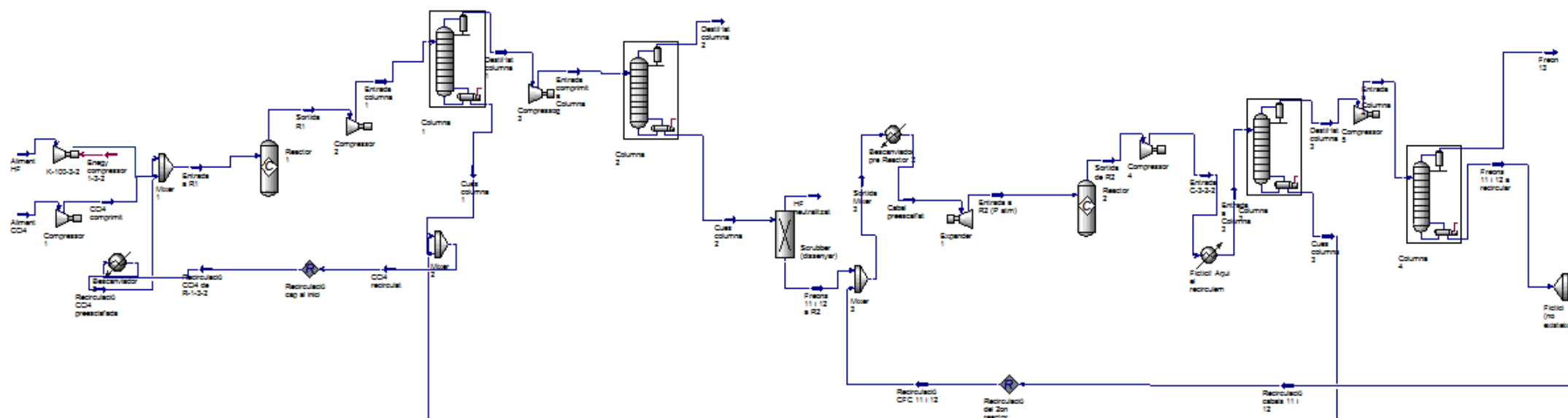
1. Especificacions del projecte

per un evaporador i un bescanviador de calor per tal de tornar a entrar com a reactiu al segon reactor. Pel que fa al cabal de destil·lat, s'obté un corrent de Freon-13 amb una puresa superior al 99.5%, el qual és emmagatzemat ja com a producte final.

1.3.1 DIAGRAMA DE BLOCS I DE PROCÉS

Finalment, per a més detall, en el següent apartat es presenta un diagrama de blocs del procés i el diagrama realitzat amb Aspen-Hysys. Cal notar que els equips i valors dels balanços d'Aspen-HYSYS no representen la totalitat del procés, sinó que tan sols aporten una idea general d'aquest i dels balanços d'aquest⁵. Els valors exactes es poden consultar a l'apartat 10, diagrames i plànols, d'aquest projecte. De la mateixa forma, les diferents recirculacions energètiques realitzades al llarg del procés, també es poden comprovar en el diagrama de blocs.

⁵ La finalitat d'ASPEN Hysys ha estat principalment l'obtenció de dades.



1. Especificacions del projecte

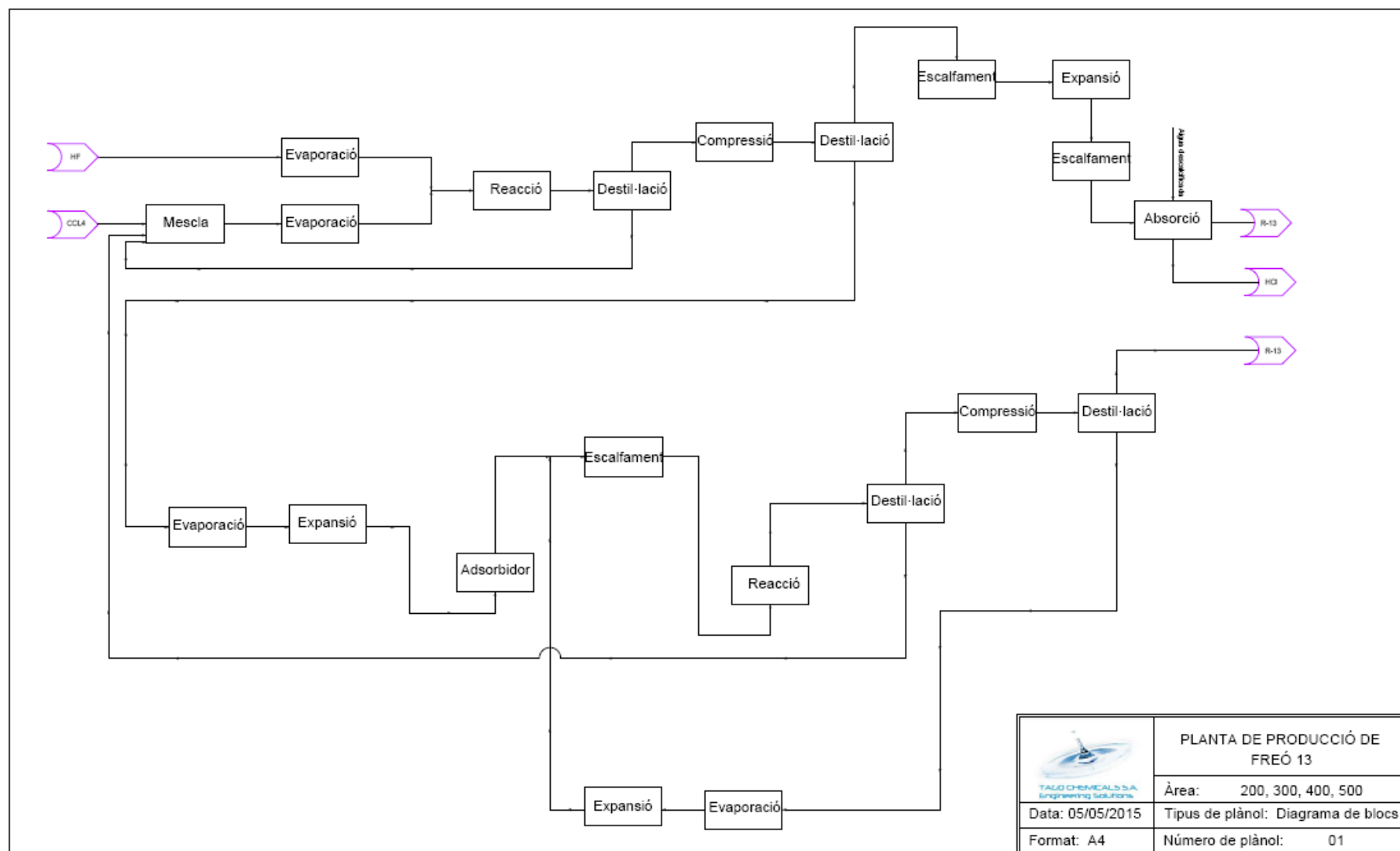


Figura 1.21 Diagrama de blocs del procés

1. Especificacions del projecte

1.3.2 BALANÇ DE MATÈRIA

Taula 1.7.1 Balanços de matèria de la figura 1.20

	<i>Unit</i>	Aliment HF	Aliment CCl4	HF comprimit
Vapour Fraction	<i>Tant 1</i>	1,000	1,000	1,000
Molar Flow	<i>kgmole/h</i>	47,486	14,517	47,486
Mass Flow	<i>kg/h</i>	950,000	2233,000	950,000
Liquid Volume Flow	<i>m3/h</i>	0,965	1,395	0,965
Comp Mole Frac (CCl4)	<i>Tant 1</i>	0,000	1,000	0,000
Comp Mole Frac (HF)	<i>Tant 1</i>	1,000	0,000	1,000
Comp Mole Frac (HCl)	<i>Tant 1</i>	0,000	0,000	0,000
Comp Mole Frac (Refrig-11)	<i>Tant 1</i>	0,000	0,000	0,000
Comp Mole Frac (Refrig-12)	<i>Tant 1</i>	0,000	0,000	0,000
Comp Mole Frac (Refrig-13)	<i>Tant 1</i>	0,000	0,000	0,000

Taula 1.7.2 Balanços de matèria de la figura 1.20

CCl4 comprimit	Entrada a R1	Sortida R1	Entrada columna 1	Destil·lat columna 1
1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
14,517	74,993	74,993	74,993	74,410
2233,000	5181,269	5181,277	5181,277	5091,527
1,395	3,608	4,415	4,415	4,359
1,000	0,367	0,008	0,008	0,000
0,000	0,633	0,050	0,050	0,051
0,000	0,000	0,583	0,583	0,587
0,000	0,000	0,140	0,140	0,141
0,000	0,000	0,213	0,213	0,215
0,000	0,000	0,005	0,005	0,006

1. Especificacions del projecte

Taula 1.7.3 Balanços de matèria de la figura 1.20

Cues columna 1	Recirculació CCl4 de R-1-3- 2	Recirculació CCl4 preesclafada
0,000	0,000	1,000
0,583	12,991	12,991
89,750	1998,269	1998,269
0,056	1,248	1,248
1,000	1,000	1,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000

Taula 1.7.4 Balanços de matèria de la figura 1.20

Destil·lat columna 2	Cues columna 2	Freons 11 i 12 a R2	HF neutralitzat
1,000	0,000	0,000	0,000
44,120	30,290	26,503	3,787
1637,509	3454,018	3378,227	75,791
1,875	2,483	2,406	0,077
0,000	0,001	0,001	0,000
0,000	0,125	0,000	1,000
0,990	0,000	0,000	0,000
0,000	0,346	0,396	0,000
0,000	0,528	0,603	0,000
0,009	0,000	0,000	0,000

1. Especificacions del projecte

Taula 1.7.5 Balanços de matèria de la figura 1.20

Cabal preescalfat	Sortida de R2	Destil·lat columna 3	Cues columna 3
1,000	1,000	1,000	0,000
47,014	47,014	34,619	12,395
5877,807	5877,819	3971,380	1906,440
4,256	4,548	3,357	1,191
0,001	0,264	0,000	0,999
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,248	0,025	0,033	0,001
0,751	0,409	0,555	0,000
0,000	0,303	0,411	0,000

Taula 1.7.6 Balanços de matèria de la figura 1.20

Entrada a Columna 4	Freon 13	Freons 11 i 12 a recircular	Entrada comprimit a Columna 2
1,000	1,000	0,000	1,000
34,619	14,220	20,399	74,410
3971,380	1485,466	2485,914	5091,527
3,357	1,518	1,840	4,359
0,000	0,000	0,001	0,000
0,000	0,000	0,000	0,051
0,000	0,000	0,000	0,587
0,033	0,000	0,057	0,141
0,555	0,000	0,942	0,215
0,411	1,000	0,000	0,006

1. Especificacions del projecte

Taula 1.7.7 Balanços de matèria de la figura 1.20

Entrada a R2	CCl4 recirculat	Recirculació cabals 11 i 12	acum-2-2
1,000	0,000	0,000	0,000
47,014	12,978	20,399	0,000
5877,807	1996,190	2485,914	0,000
4,256	1,247	1,840	0,000
0,001	0,999	0,001	0,001
0,000	0,000	0,000	0,000
0,000	0,000	0,000	0,000
0,248	0,001	0,057	0,057
0,751	0,000	0,942	0,942
0,000	0,000	0,000	0,000

Taula 1.7.8 Balanços de matèria de la figura 1.20

Recirculació CFC 11 i 12	Sortida Mixer 3	Entrada C-3-2-2	Res-3-2
0,000	0,000	1,000	0,000
20,511	47,014	47,014	0,000
2499,580	5877,807	5877,819	0,000
1,850	4,256	4,548	0,000
0,000	0,001	0,264	0,099
0,000	0,000	0,000	0,118
0,000	0,000	0,000	0,113
0,058	0,248	0,025	0,464
0,942	0,751	0,409	0,205
0,000	0,000	0,303	0,002

1. Especificacions del projecte

Taula 1.791 Balanços de matèria de la figura 1.20

res2-2-2	Entrada a Columna 3
0,000	1,000
0,000	47,014
0,000	5877,819
0,000	4,548
0,848	0,264
0,000	0,000
0,000	0,000
0,022	0,025
0,106	0,409
0,024	0,303

Finalment, un pas importantíssim és comprovar que s'acompleix el balanç de matèria. Prenent com a referència un balanç total de tota la planta obtenim que:

$$E = S \quad (eq. 1.1)$$

$$950 + 2233 = 1638 + 75,79 + 1485 \rightarrow 3183 = 3208$$

Tal com es pot observar, el balanç de matèria global presenta un error de 0,8%, fet que permet donar-lo per bo.

1. Especificacions del projecte

1.4 CARACTERÍSTIQUES DELS REACTIUS I PRODUCTES

1.5.1 REACTIUS

- o Àcid fluohídric (HF)

Taula 1.8 Propietats fisicoquímiques del àcid fluorhídric.

Propietat	Valor
Pes molecular (g/mol)	20,01
Punt de fusió (°C)	-83,15
Punt d'ebullició (°C)	19,85
Densitat (g/cm ³)	1,14
Pressió vapor a 20°C (mm Hg)	783 mm
Viscositat (mPa·s)	1,14E-02
Temperatura crítica (°C)	188
Pressió crítica (Kpa)	64850
Solubilitat (Kg/100Kg H ₂ O)	>70

- o Tetraclorur de carboni (CCl₄)

Taula 1.9 Propietats fisicoquímiques del tetraclorur de carboni.

Propietat	Valor
Pes molecular (g/mol)	153,8
Punt de fusió (°C)	-23
Punt d'ebullició (°C)	76,5
Densitat (g/cm ³)	1,595
Pressió vapor a 20°C (KPa)	12,2
Viscositat (mPa·s)	0,91
Temperatura crítica (°C)	283
Solubilitat (Kg/100Kg H ₂ O)	0,08

- o Àcid clorhídric (HCl)

Taula 1.10 Propietats fisicoquímiques de l'àcid clorhídric.

Propietat	Valor
Pes molecular (g/mol)	36,46
Punt de fusió (°C)	-114,22
Punt d'ebullició (°C)	-85,05
Densitat (g/cm ³)	1,49
Pressió vapor a 20°C	4352

1. Especificacions del projecte

Índex de refractivitat a 25°C	1,254 (líq.)
Viscositat (mPa·s)	0,311
Temperatura crítica (°C)	51,4
Pressió crítica (Kpa)	8356
Solubilitat (Kg/100Kg H2O)	72 (20°C)

1.5.2 PRODUCTES

- O Freon 11 (CCl₃F)

Taula 1.11 Propietats fisicoquímiques del Freon-11.

Propietat	Valor
Pes molecular (g/mol)	137,4
Punt d'ebullició (°C)	23,72
Punt de fusió (°C)	-110,48
Pressió crítica (KPa)	4407,8
Temperatura crítica (°C)	197,78
Densitat líquid (g/cm ³)	1,485
Densitat vapor (g/cm ³) · 10 ³	5,847
Calor vaporització (KJ/Kg)	191,2
Calor específic líquid (KJ/Kg·K)	0,855
Calor específic gas (KJ/Kg·K)	0,605

- O Freon 12 (CCl₂F₂)

Taula 1.12 Propietats fisicoquímiques del Freon-12.

Propietat	Valor
Pes molecular (g/mol)	120,9
Punt d'ebullició (°C)	-21,6
Punt de fusió (°C)	-157,7
Pressió crítica (KPa)	4136,9
Temperatura crítica (°C)	111,94
Densitat líquid (g/cm ³)	1,329
Densitat vapor (g/cm ³) · 10 ³	6,295
Calor vaporització (KJ/Kg)	165,61
Calor específic líquid (KJ/Kg·K)	0,973
Calor específic gas (KJ/Kg·K)	0,605

- O Freon 13 (CClF₃)

Taula 1.13 Propietats fisicoquímiques del Freon-13.

Propietat	Valor
Pes molecular (g/mol)	104,5
Punt d'ebullició (°C)	-81,28
Punt de fusió (°C)	-181

1. Especificacions del projecte

Pressió crítica (KPa)	3914,8
Temperatura crítica (°C)	29,22
Densitat líquid (g/cm ³)	1,164
Densitat vapor (g/cm ³) · 10 ³	6,939
Calor vaporització (KJ/Kg)	149,68
Calor específic líquid (KJ/Kg·K)	1,204
Calor específic gas (KJ/Kg·K)	0,605

1. Especificacions del projecte

1.5 APLICACIONS DEL FREON-13

El Freon-13, nom comunament utilitzat per referir-se al clorotrifluoro metà, és un derivat del metà no inflamable i no corrosiu que va ser molt utilitzat com a refrigerant industrial al llarg del segle XX.

El nom de Freon va si introduït per l'empresa E.I. du Pont de Nemours and Company, més coneguda com a Du Pont.

L'ús de Freons com a refrigerants en la indústria del fred va ser introduït al 1930, substituint ventatjosament a l'amoníac, l'anhídrid sulfurós i l'anhídrid carbònic com a gasos per a l'obtenció de fred industrialment mitjançant sistemes de compressió-expansió. El gasos anteriorment mencionats, a part de tòxics i corrosius, exigeixen altes pressions per aconseguir la condensació. El Freon, degut a les seves característiques, va eliminar pràcticament tots els sistemes amb temperatures de congelació superiors a -30°C . Més tard, el Freon es va utilitzar també com a agent propulsor en aerosols, gasos inerts per apagar incendis i com a dissolvent reutilitzable per a neteja en la indústria electrònica.

A mitjans de la dècada dels 70, però, es va suggerir que els compostos de fluor provinents de l'ús indiscriminat dels Freons com a propel·lent d'aerosols i deguts als escapaments que inevitablement comporta la seva utilització en equips e refrigeració, aires condicionats i neteja, contribuïen a la destrucció de la capa d'ozó de l'estratosfera terrestre.

És més, Frank Sherwood Rowland, professor de la Universitat de Califòrnia i guanyador del Premi Nobel al 1995 pel seu treball sobre el paper dels clorofluorocarbons en l'esgotament de la capa d'ozó, fou el primer en demostrar empíricament i amb base científica l'efecte directe que els Freons tenen en la disminució de tal capa.

Així doncs, el gradual augment de consciència que va experimentar la societat en l'ús d'aquests compostos va acabar derivant en el Protocol de Montreal, el qual –tal com es comentarà detalladament en l'apartat de Seguretat i Higiene i en l'apartat de Medi Ambient- regula estrictament la producció i utilització del Freon-13.

1. Especificacions del projecte

1.6 CONSTITUCIÓ DE LA PLANTA

1.7.1 DESCRIPCIÓ QUALITATIVA DE LA PLANTA

La planta de producció de Freon-13, a part de les àrees de reacció i purificació ja esmentades anteriorment, disposa també de molts altres espais –com laboratoris, oficines, vestuaris, etc.-, els quals són totalment necessaris per al correcte funcionament d'aquesta.

D'acord amb això, és important disposar tots aquests espais complint sempre la normativa vigent, la qual es descriu ens els capítols 5 i 6 del present treball. A part, també és molt important fer-ho de forma estratègica, a fi de minimitzar costos econòmics, operacionals i temporals.

Així doncs, la planta de producció de Freon-13 es subdivideix en diferents zones, cadascuna de les quals té una funció específica, unes mesures de seguretat i medi ambientals i una normativa a complir.

1.7.2 DISTRIBUCIÓ PER ÀREES

En la següent taula es poden observar les diferents zones de la planta, juntament amb la seva nomenclatura:

Taula 1.16 Distribució de les àrees de la planta de producció de Freon-13.

Àrea	Nom
100	Emmagatzematge de matèries primeres
200	Producció Freon-11 i Freon-12
300	Purificació Freon-11 i Freon-12
400	Producció Freon-13
500	Purificació Freon-13
600	Acondicionament productes finals
700	Emmagatzematge de productes
800	Zona descàrrega reactius
900	Zona càrrega producció
1000	Laboratoris
1100	Oficines
1200	Zona social i menjador
1300	Serveis
1400	Sala de control

1. Especificacions del projecte

1500	Aparcament
1600	Taller i manteniment
1700	Protecció contra incendis
1800	Tractament d'emissions gasoses
1900	Ampliacions

1. Especificacions del projecte

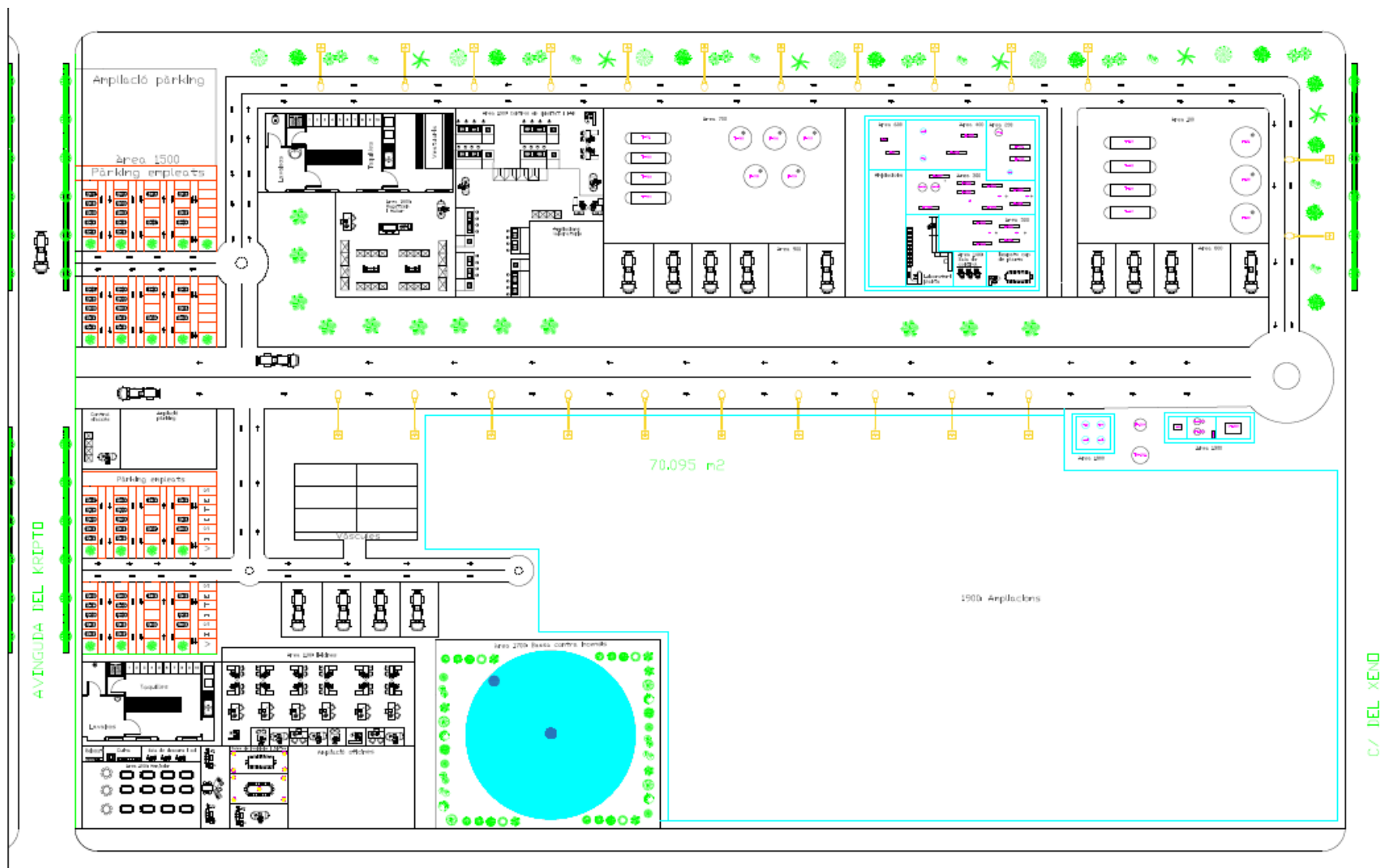


Figura 1.22 Distribució per zones de la planta de Freon-13.

1. Especificacions del projecte

Tot seguit es descriuran les 19 zones presents en la figura 1.19:

o Àrea 100. Emmagatzematge de matèries primeres:

En aquesta àrea s'hi troben els tancs d'emmagatzematge de les matèries primeres – CCl_4 i HF -. Es troba situada just al costat de l'àrea de càrrega i descàrrega, a fi de facilitar el procés, i disposa de vàries indicacions i senyals viàries per a la correcta circulació de vehicles i persones.

o Àrea 200. Producció de Freon-11 i Freon-12:

Comprèn tota la primera zona de reacció del procés. Hi arriben les matèries primeres procedents de l'àrea 100 i en surten Freon-11, Freon-12 i HCl –principalment- cap a l'àrea 200. Els equips principals són 2 evaporadors tipus kettle per tal de portar a fase gas els reactius un reactor de llit empaquetat on té lloc la producció dels Freons i el HCl .

o Àrea 300. Purificació de Freon-11 i Freon-12:

És l'àrea on es purifiquen els productes obtinguts del primer pas de reacció. Hi arriben Freon-11 i Freon-12, els quals es separen de les matèries primeres no reaccions i s'envien a l'àrea 400, i HCl , el qual s'absorbeix amb aigua i s'envia com a fluid calent a l'àrea 500. Els equips principals són 2 torres de destil·lació, un scrubber, un absorbidor i varis bescanviadors de calor per a dur els diferents components a la temperatura d'operació desitjada.

o Àrea 400. Producció de Freon-13:

Aquí se sintetitza el producte principal de la planta. Té com a entrada els Freons purificats a la zona 300 i com a sortida un cabal amb Freon-13, Freons 11 i 12 no reaccionats i CCl_4 que s'envien a la zona 500. L'equip principal d'aquesta àrea és un reactor multitubular, tipus carcassa i tubs, en el qual té lloc la síntesi de Freon-13, tot circulant aigua de refrigeració per carcassa a fi de mantenir la temperatura isoterma.

En aquesta àrea, un control exhaustiu, especialment durant la posada en marxa de la planta, és clau a fi de treballar sempre en condicions de màxima seguretat.

1. Especificacions del projecte

o Àrea 500. Purificació de Freon-13:

Darrera àrea de la part de procés de producció. Aquí es realitzarà la purificació final del Freon-13 per dur-lo ja a la fase d'acondicionament amb una concentració superior al 99%. Té com a entrada els productes de la zona de reacció 400 i com a sortida un corrent de Freon-13 que es porta a l'àrea 600, prèvia a l'emmagatzematge final. Els principals equips són 2 columnes de destil·lació i varis bescanviadors de calor.

o Àrea 600. Acondicionament final de productes:

Un cop obtinguts els productes del procés, Freon-13 i HCl, passen per una darrera fase d'acondicionament, on són tractats per tal de dur-los a les condicions òptimes d'emmagatzematge. El Freon-13 passa per un sistema de compressió-refredament, mentre que el HCl passa per un bescanviador a fi de dur la temperatura a T ambient.

o Àrea 700. Emmagatzematge de productes:

En aquesta àrea s'emmagatzemen els productes ja acondicionats en l'àrea anterior. Està composta per tancs a pressió i refredats per un serpentí, tancs de Freon-13, i per tancs atmosfèrics on s'emmagatzema el HCl.

o Àrea 800. Zona descàrrega reactius:

En aquesta àrea és on arribaran els camions amb els reactius del procés. Com ja s'ha esmentat, es troba just al costat de l'àrea d'emmagatzematge, a fi de facilitar els tràmits. Aquesta àrea disposa de senyals viaris, d'acord amb la legislació vigent, així com totes les indicacions requerides per al tipus de reactius que s'hi descarregaran. Disposa també de tot el material necessari per a realitzar el procés de descàrrega, així com de l'equip requerit per a la presa de mostres de matèries primeres prèvia al descarregament d'aquestes.

o Àrea 900. Zona de càrrega de productes:

Zona habilitada de la mateixa forma que l'àrea 800, amb la diferència que en aquest cas serveix per a la càrrega dels productes –Freon 13 i HCl– als camions cisterna.

1. Especificacions del projecte

o Àrea 1000. Laboratoris:

Aquesta àrea està dividida en dues: control de qualitat i Investigació i Desenvolupament. En la primera es duran a terme controls de qualitat de les matèries primeres cada cop que arribi un camió, a fi de confirmar que compleixen amb els requeriments que s'ha demanat. A part, també es realitzaran diversos control de qualitat de varies zones al llarg del procés, per assegurar que aquest s'està duent a terme dins de les premisses establertes. Finalment, també es controlarà la qualitat dels productes a vendre –HCl i Freon-13-, per comprovar que es trobin dins dels estàndards pactats amb els diferents clients.

Per que fa a la segona part, es tracta d'un laboratori d'I+D on els treballadors estudiaran i faran recerca sobre possibles optimitzacions de la planta, a fi de mantenir a l'empresa a l'avantguarda de la producció de Freon-13.

o Àrea 1100. Oficines:

En aquesta àrea s'hi trobaran diversos sectors que s'ocuparan de tota la part burocràtica de l'empresa: departament de màrketing, departament de ventes, departament econòmic, departament de recursos humans, etc.

o Àrea 1200. Zona social i menjador:

La zona social proporciona una àrea on els treballadors podran disposar del seu temps de descans reglamentari durant cada jornada laboral. A part també s'hi troba el menjador i la cuina. Aquesta àrea disposarà també de màquines expendedores i lavabos.

o Àrea 1300. Serveis:

En aquesta àrea s'hi troben les instal·lacions necessàries per a abastir la planta dels fluids tèrmics necessaris. Els principals són una caldera de vapor, una torre de refrigeració i el sistema de refrigeració de propilè. Aquesta àrea disposa d'unes estrictes mesures de seguretat d'acord amb la legislació vigent.

1. Especificacions del projecte

o Àrea 1400. Sala de control:

Aquí es troba la sala de monitorització de tots els processos de la planta, essent doncs, una àrea clau per al correcte funcionament d'aquesta. Hi haurà personal treballant-hi les 24 hores del dia, per tal d'assegurar que tot es troba dins dels paràmetres i les directrius establertes, així com per poder actuar i modificar qualsevol paràmetre en cas que fos necessari.

o Àrea 1500. Aparcament:

Àrea destinada al aparcament dels vehicles dels treballadors, comercials i visites. Estarà dividida en aparcament per cotxes i per motos. També hi haurà plaça per a persones amb mobilitat reduïda.

Una mesura de seguretat extra en aquesta part és que els cotxes hauran d'aparcar sempre de forma que quedin encarats cap a la sortida, és a dir, amb el cap del cotxe mirant cap enfora.

o Àrea 1600. Taller i manteniment:

Aquesta àrea està disposada per al manteniment general de tota la planta. S'hi trobaran tot tipus d'eines i equips, per a poder actuar en cas de qualsevol averia a la planta. També s'hi trobaran petits equips de recanvi, com vàlvules, compressors o bombes, els quals permetran una substitució ràpida d'aquests a la planta en cas d'incidència.

o Àrea 1700. Protecció contra incendis:

Zona destinada a l'emmagatzematge de materials i equips amb els quals actuar en cas d'incendi a la planta. S'hi trobarà tot tipus de material, tal com extintors, mangueres, etc. a part dels ja col·locats en diferents punts de la planta.

o Àrea 1800. Tractament d'emissions gasoses:

Dins de la planta hi ha una àrea habilitada pel tractament d'emissions gasoses. Aquí s'hi tractaran, principalment, els ventejos dels tancs d'emmagatzematge. Tal com s'especifica en la vigent legislatura –veure apartat 5, Seguretat i Higiene–, no es poden

1. Especificacions del projecte

emetre els compostos amb que es treballa a la planta a l'atmosfera. Aquests compostos es troben emmagatzemats en tancs la pressió dels quals es manté mitjançant un servei de nitrogen, per tant, serà necessari realitzar un venteig d'aquest component durant la càrrega dels tancs. Així doncs, és necessari preveure un sistema de tractament d'emissions gasoses per tal d'eliminar les traces de components arrossegats durant el venteig, a fi de no emetre'ls a l'atmosfera. Amb aquest propòsit es dissenya un sistema de tractament de gasos format per un scrubber empacat amb carbó actiu –el qual absorbirà els compostos orgànics, Freons i CCl_4 - i un altre amb NaOH que utilitza com a suport carbó actiu –on es neutralitzaran els àcids, HF i HCl-. D'aquesta forma, serà possible eliminar tots els components del nitrogen de venteig.

A part, aquest mateix sistema també servirà per a tractar els corrents que provenguin de les psv dels diferents equips de la planta en cas d'una eventual utilització d'aquestes.

Cal esmentar que tots aquests equips es troben doblats per tal de procedir al procés de regeneració mentre un equip es troba sempre actiu.

Àrea 1900. Ampliacions

Es tracta d'un espai buit dins de la parcel·la de la planta, el qual s'utilitzarà per a futures ampliacions de la planta.

1. Especificacions del projecte

1.7.3 PLANTILLA DE TREBALLADORS

En aquest apartat es descriuran el nombre de treballadors, tipus de feina de cadascun i nombre de torns de treball i vacances. Com s'ha esmentat anteriorment la planta produeix 24 hores durant 300 dies al any.

Es decideixen fer 2 parades de planta al llarg de l'any. El motiu de fer-ne dues és el següent: més de dues parades suposaria un cost excessiu de parada i posta en marxa de la planta, fet que encariria tot el procés. Per altra banda, un nombre inferior de dues suposaria un temps d'inactivitat de producció de 60 dies, fet que es considera massa elevat. A part, que serà necessari canviar el catalitzador del primer reactor.

Durant aquestes parades, es duren a terme tot tipus d'operacions de neteja i manteniment, així com regeneració i canvi de catalitzadors i reparació d'equips danyats.

Cal esmentar que durant els 300 dies de producció, la planta estarà operativa les 24 hores al dia, mentre que durant els períodes de parada la planta només operarà 8 hores al dia i entre setmana. D'acord amb això, és possible calcular el nombre total d'hores laborals que requerirà la planta:

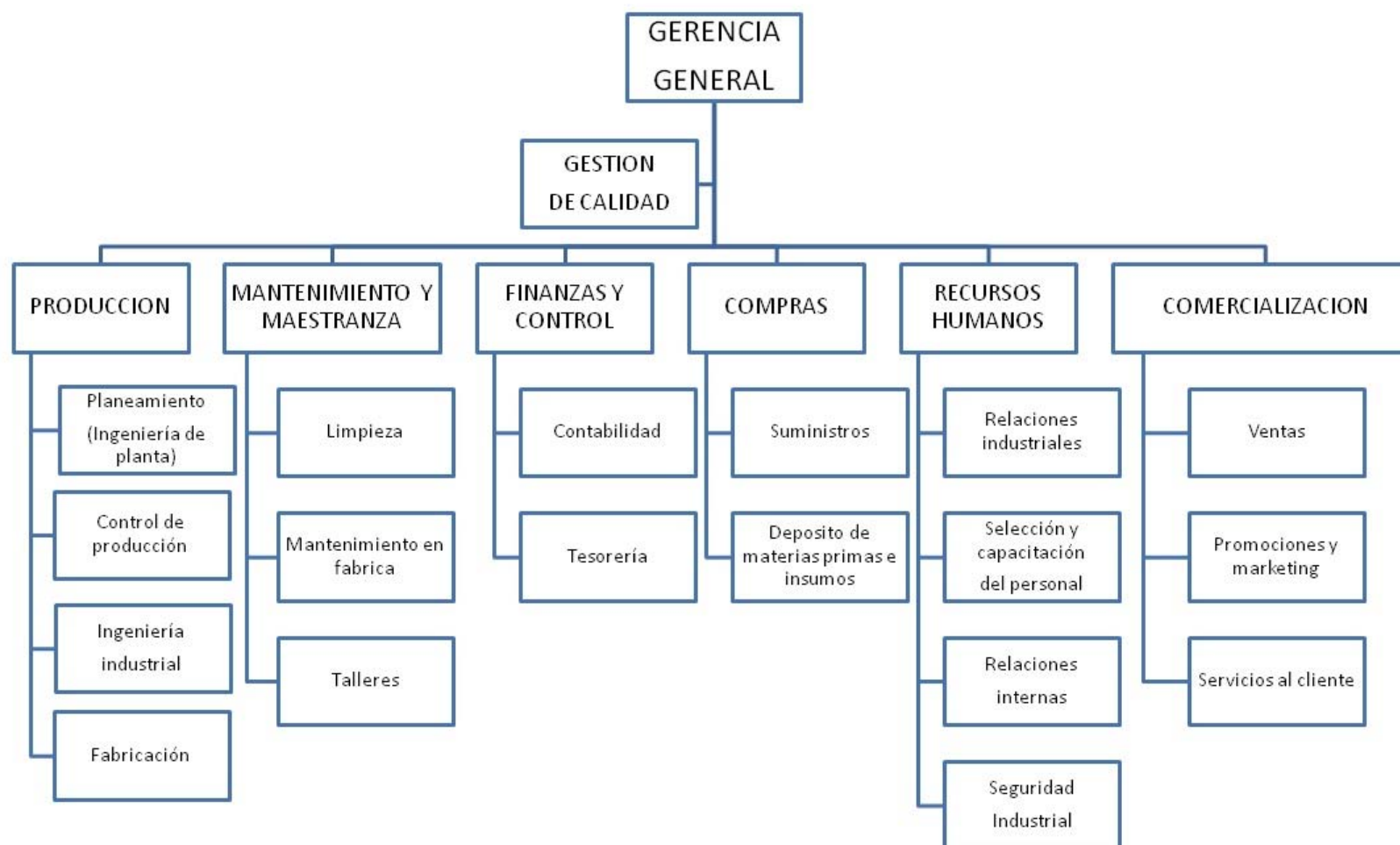
$$n^{\circ} \text{ hores de treball} = 300 \text{ dies} \cdot \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ dia}} + (65 - 18) \text{ dies} \cdot \frac{8 \text{ h}}{1 \text{ dia}} = 7576 \text{ hores}$$

D'acord amb BOE-A-2013-3750, el màxim d'hores per un treballador a l'empresa química són de 1752 hores/any. Dividint el nombre d'hores entre el nombre màxim d'hores per any, s'obtenen 4,3 torns, el qual s'arrodoniria a 5. No obstant, es decideix apostar per la inserció dels joves estudiants al món laboral, fet que permetrà reduir aquest nombre de torns a 4 exactes, donant dies de vacances al treballadors a torn amb contracte indefinit.

Pel que fa als treballadors i a la tasca de cadascun d'aquests, a continuació es presenta un esquema de la jerarquia i càrrecs de l'empresa:

1. Especificaciones del proyecto

Figura 1.23 Organización de trabajadores de la planta.



1. Especificacions del projecte

Tal com es pot observar en la figura 1.20, l'empresa estarà formada pels següents departaments:

o Gerència general

És el màxim òrgan de l'empresa. Des d'aquí es prenen les principals decisions i s'estableix la ruta a seguir. Estarà formada per un gerent i 3 directius, l'horari dels quals serà variable en funció de les necessitats de l'empresa.

o Producció

Subdivisió encarregada de tota la part de síntesi i purificació del Freon-13. Està dividida en 4 subapartats: Enginyeria, on l'enginyer de planta prendrà les principals decisions tècniques d'aquesta. El seu horari serà variable en funció de la demanda. Fabricació, on un total de 4 enginyers industrials o tècnics seran els caps dels 4 torns de treball de 8 persones cadascun, amb horari de 8 hores laborables a torn rotatiu 5 dies seguits i 2 de descans, alternant 3 setmanes de feina i una de vacances. Control de producció, on es realitzaran els anàlisi de qualitat de matèries primeres i productes, així com els diferents anàlisis de procés per veure que tot funciona correctament. El control de qualitat serà realitzat per els mateixos treballadors del laboratori de I+D, els quals treballen a torn únic de 8 hores. Durant els períodes de matinada i de nit, la part de control de procés la realitzaran els operaris de planta. A part, també hi ha l'altre tipus de control, el control de procés. Aquest es realitzarà des de la zona de monitoratge i és necessari que estigui operatiu les 24 hores del dia. Un total de 2 persones hi treballaran constantment. Per tant, es requereixen 4 torns rotatius. Els treballadors d'aquest àmbit seran llicenciats (o grau més màster) en enginyeria química. Finalment l'enginyeria industrial, on un grup d'enginyers, químics orgànics, etc., s'encarregaran del laboratori d'I+D, a fi d'estuiar l'optimització dels processos actuals i la recerca de nous mètodes per a la síntesi del Freon-13. Un total de 3 enginyers + 1 cap de laboratori treballaran a I+D.

o Manteniment

Aquesta part inclou tot el manteniment i reparació de la planta. Constarà de 3 treballadors a torn únic de 8 hores, els quals vetllaran pel correcte funcionament de tots els equips. En l'àmbit de la neteja, es disposa de 6 treballadors, els quals s'encarregaran de la neteja de tota la planta, incloent oficines, laboratoris etc. L'horari

1. Especificacions del projecte

serà de 8h a torn únic, i s'intentarà que coincideixin els moments de neteja amb els de menys activitat en la zona a netejar.

O Finances i control

S'encarregaran de tota la part econòmica de la planta. Estudi de viabilitat de projectes, establiran preus mínims de venda i màxims de compra, realitzaran estudis de mercat, etc. Estaran constantment en contacte amb la secció de compres i la de comercialització per establir uns criteris i objectius comuns. La decisió final de cada pas, haurà de ser sempre aprovada per la gerència general. Hi haurà un cap de secció titulat en direcció d'empresa o estudis afins i tres treballadors, amb titulació de contabilitat o afins.

O Compres

Aquesta secció s'encarrega de la compra de totes les matèries primeres necessàries per la planta. És una secció clau, ja que en un sector on la competitivitat és tant alta com en aquest, el fet de comprar al millor preu permet uns marges de beneficis majors. Hi haurà un cap de compres i 2 treballadors més. La relació entre aquest sector, el de finances i el de comercialització és importantíssima.

O Recursos humans

El departament de recursos humans, com ja porta succeint al llarg dels últims anys, és una peça clau per al bon funcionament intern de l'empresa. Aquest està dividit en varis sectors, els quals es descriuran a continuació. Per una banda la part de relacions industrials a nivell nacional i internacional, permetent està en contacte amb clients de tot el món i amb d'altres empreses del sector. En segon lloc el departament de selecció, el qual és importantíssim per tal de contractar als millors especialistes per la feina, tant a nivell professional com personal. En tercer lloc, el departament de recursos interns, encarregat del bon funcionament intern de l'empresa, així de totes les tasques burocràtiques i administratives com control d'horaris, nòmines, etc. i personal per a la recepció i secretaria de l'empresa. Finalment s'inclou en aquest grup el de seguretat industrial, format per especialistes en seguretat la feina dels quals és vetllar per al estricte compliment de tota la normativa d'aquest camp, l'aplicació i renovació d'acord amb la legislació vigent de les lleis en els llocs de càrrega i descàrrega, d'emmagatzematge, etc. i la provisió i revisió d'equips de seguretat a tots

1. Especificacions del projecte

els empleats de la planta (cascos, olleres de protecció, bates, guants, etc.). En aquest departament s'estima que hi haurà un total de 12 persones, els quals treballaran a torn únic de 8 hores.

o Comercialització

Aquest sector és l'encarregat d'oferir els serveis de l'empresa als clients. És a dir, s'ocupa de la venda dels productes, de la correcta promoció i màrqueting d'aquest i del servei i atenció al client. En aquest camp s'hi inclouen els comercials, els encarregats de tancar les ventes, les persones de contacte amb els clients, etc. S'estima que hi treballaran un total de 10 persones.

o Altres

Com s'ha esmentat anteriorment, l'empresa aposta per la inserció de joves estudiants en el món laboral. D'acord amb això, es faran contractes en pràctiques a estudiants en els seus últims anys de carrera. Aquests es contractaran per als sectors de producció i laboratoris, especialment en la part de control de qualitat. S'estima que es podran contractar en pràctica uns 3 estudiants, la distribució per àrees dels quals es farà en funció de la feina existent.

1. Especificacions del projecte

1.7 PROGRAMACIÓ TEMPORAL I MUNTATGE DE LA PLANTA

A continuació es presenten la llista de tasques, juntament amb el temps estimat per a cadascuna, que es durien a terme un cop acceptat el projecte. Cal esmentar que el permís o llicència per a dur a terme totes les activitats es duria a terme paral·lelament amb el disseny d'enginyeria al detall, a fi d'optimitzar el temps.

Així doncs, a continuació es presenten les tasques i durades a realitzar:

Taula 1.17 Programació temporal de la planta de producció de Freon-13.

PROGRAMACIÓ TEMPORAL				
Id	Color	Tarea	Fecha inicio	Fecha fin
1	4	Llicència d'obres	08/06/2015	05/10/2015
2	4	Neteja dels terrenys	05/10/2015	19/10/2015
3	4	Excavacions i fonaments	18/10/2015	11/11/2015
4	4	Instal·lació de suports	09/11/2015	23/11/2015
5	4	Instal·lació d'escaleres	20/11/2015	24/11/2015
6	4	Instal·lació de plataformes	21/11/2015	25/11/2015
7	4	Instal·lació de baranes	22/11/2015	24/11/2015
8	4	Edificació:oficines, lab, pàrking	21/11/2015	24/03/2016
9	4	Instal·lació d'equips	20/03/2016	07/06/2016
10	4	Calibratge d'equips	30/05/2016	10/06/2016
11	4	Instal·lació conduccions prefab.	02/06/2016	22/06/2016
12	4	Instal·lació canonades de procés	18/06/2016	19/07/2016
13	4	Connexió equips-canonades	10/07/2016	24/07/2016
14	4	Instal·lació canonades serveis	20/07/2016	13/08/2016
15	4	Connexió canonades equips-serveis	04/08/2016	11/08/2016
16	4	Instal·lació instrumentació	07/08/2016	21/08/2016
17	4	Connexió instrumentació-equip	12/08/2016	21/08/2016
18	4	Instal·lació aparellatge elèctric	17/08/2016	07/09/2016
19	4	Connexió elèctrics-equip	29/08/2016	03/09/2016
20	4	Aïllament equips	25/08/2016	23/09/2016
21	4	Aïllament canonades	11/09/2016	30/09/2016
22	4	Aïllament conductes	20/09/2016	04/10/2016
23	4	Proves equips	04/10/2016	18/10/2016
24	4	Pintura	18/10/2016	24/10/2016
25	4	Neteja	24/10/2016	28/10/2016

Finalment, es presenta un diagrama de Gantt on es pot observar la seqüència de tasques de la taula 1.16

1. Especificacions del projecte

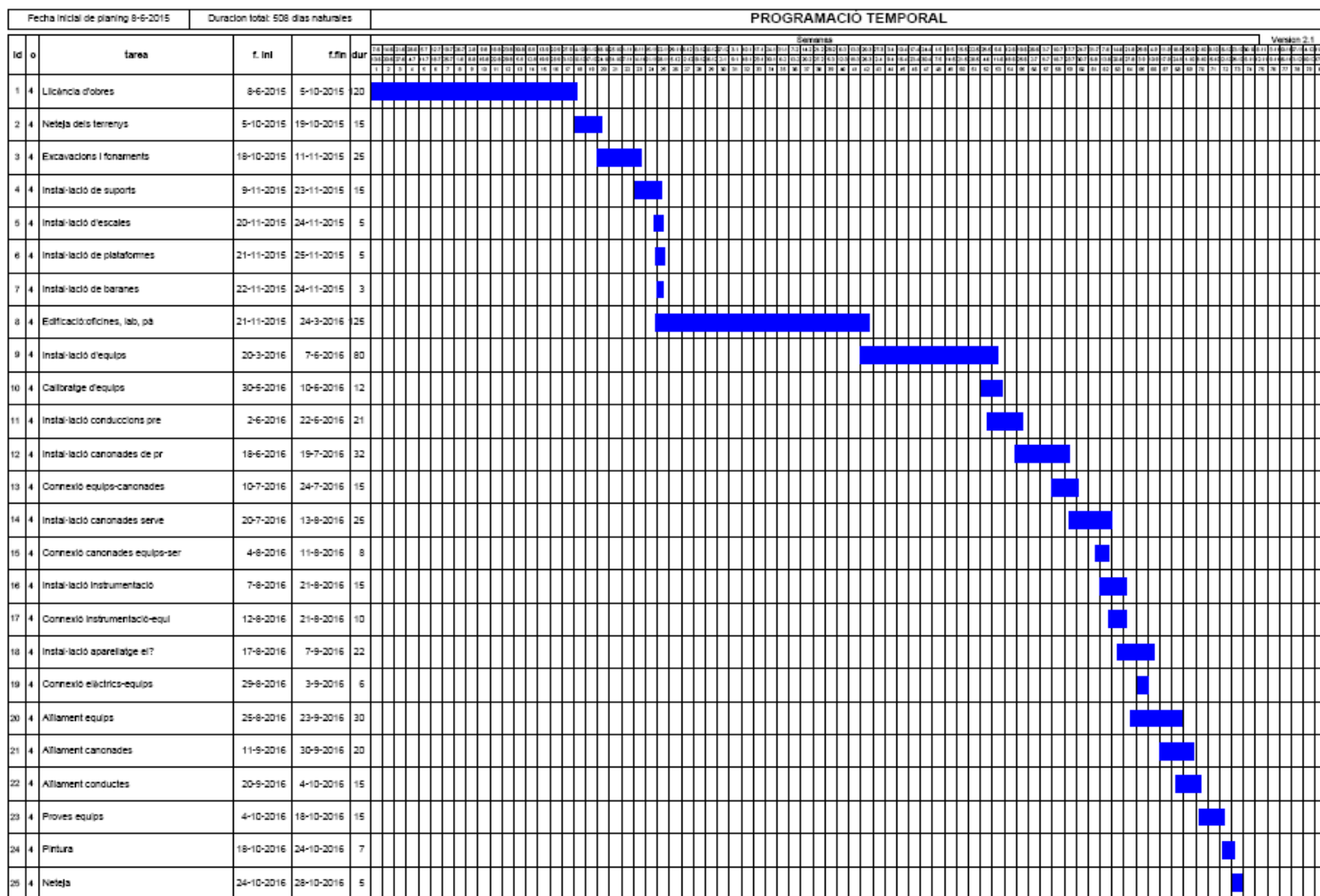


Figura 1.24 Diagrama de Gantt de la programació temporal de la planta de Freon-13.

1. Especificacions del projecte

Tal com es pot observar en la figura 1.21, la durada total del projecte seria de 508 dies, és a dir, uns 17 mesos aproximadament.

No obstant, cal tenir present que això seria així si es treballessin aquests 508 dies de forma ininterrompuda. Tenint en compte els caps de setmana i períodes de vacances, tot tenint present que es poden fer torns rotatius per reduir aquestes parades, s'estima que la durada total serà pròxima als 19-20 mesos.

1. Especificacions del projecte

1.8 SERVEIS DE PLANTA

Com s'ha mencionat anteriorment, els serveis disponibles al polígon Gasos Noble són els següents:

- o Energia elèctrica: Connexió des de la línia 20kV
- o Gas natural: Connexió a peu de parcel·la a mitja pressió (1,5 Kg/cm²)
- o Clavegueram: Xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m. Diàmetre del col·lector de 800 mm.
- o Aigua d'incendis: La màxima pressió és de 4 Kg/cm²
- o Aigua de xarxa: Escomesa a peu de parcel·la a 4 Kg/cm², amb un diàmetre de 200 mm

A part de tots aquests serveis, és necessari proveir a la planta de vapor d'aigua, propilè com a fluid tèrmic i aigua de torre.

1.8.1 AIGUA POTABLE

L'aigua potable és necessari per a l'ús personal dels empleats a total la planta (vestuaris, lavabos, serveis, etc.). Es subministra a peu de parcel·la a 4Kg/cm², a través d'una tuberia de 200 mm de diàmetre.

1.8.2 AIGUA CONTRA INCENDIS

Es tracta d'aigua que serà emprada en cas que hi hagi una situació d'emergència a la planta, tal com un incendi, explosió, etc. La pressió màxima de 4 Kg/cm².

El sistema està format per:

- 1) Estanc d'emmagatzematge d'aigua contra incendis
- 2) Red de distribució de l'aigua per total la planta

El volum total de cada tanc serà de 1800 m³, a fi d'assegurar un subministrament suficient durant varies hores en cas de necessitat.

1. Especificacions del projecte

1.8.3 AIGUA DESCALCIFICADA

Es tracta d'un element clau per a punts del procés tals com la caldera de vapor, on la tolerància d'incrustacions i agents externs en l'aigua és mínima, a fi de garantir la màxima seguretat.

L'aigua descalcificada s'obté per un procés d'intercanvi iònic utilitzant una reïna d'ions de magnesi i calci. A la planta es disposa de 2 equips de descalcificació, ja que un cop saturada la reïna es procedirà al procés de regeneració d'aquesta, trobant-se sempre operatiu un equip i l'altre en regeneració.

1.8.4 AIRE COMPRIMIT

És necessari per a accionar la instrumentació de la planta així com les vàlvules de control neumàtiques del procés. Aquest es compra directament a partir de les necessitats de caudal d'aire comprimit. Tot seguit es presenta un imatge del tipus de compressor escollit:



Figura 1.25 Sistema d'aire comprimit

1.8.5 NITROGEN

És necessari per a diversos llocs i fases del procés: regeneració de l'absorbent del scrubber, inhertització en la posta en marxa, actuació com a mesura de seguretat, mantenir la pressió en els tancs, etc.

Es compra directament com a nitrogen líquid a l'empresa LINDE.

1. Especificacions del projecte

1.8.6 ELECTRICITAT

S'utilitza per la il·luminació de la planta, equips i aparells elèctrics, instrumentació, etc. És subministrada per Fecsa Endesa i des de la planta es té accés la línia de 20 kV.

1.8.7 TORRE DE REFRIGERACIÓ

Un dels fluids emprats en diferents punts del procés com a fluid fred és aigua de torre. L'elecció d'aquesta és degut a que tant a l'absorbidor de HCl com al segon reactor, és necessari un fluid per enretirar calor. No obstant, el salt tèrmic requerit per aquest fluid no és massa elevat, motiu pel qual es decideix treballar amb aigua de refrigeració, ja que ofereix una solució econòmica.

1.8.7.1 Introducció

L'elecció de la torre de refrigeració és un punt crític en el procés. Les pèrdues d'aigua que aquesta experimenta, els requeriments i les condicions ambientals de la ubicació de tal equip són paràmetres claus per a l'elecció de la torre, ja que això tindrà una influència directa en l'economia de la planta. Així doncs, es considera important fer una breu introducció sobre aquest equip, a fi de justificar-ne la posterior elecció.

Una torre de refrigeració és un equip en el qual s'aconsegueix disminuir la temperatura d'aigua calenta, provinent d'un circuit de refrigeració, mitjançant la transferència de calor i matèria a l'aire que circula per l'interior d'aquesta. A fi de millorar el contacte aire-aigua i, en conseqüència, la transferència de matèria, les torres de refrigeració acostumen a ser empacades. En la següent figura, es pot observar un esquema de l'anteriorment descrit:

1. Especificacions del projecte

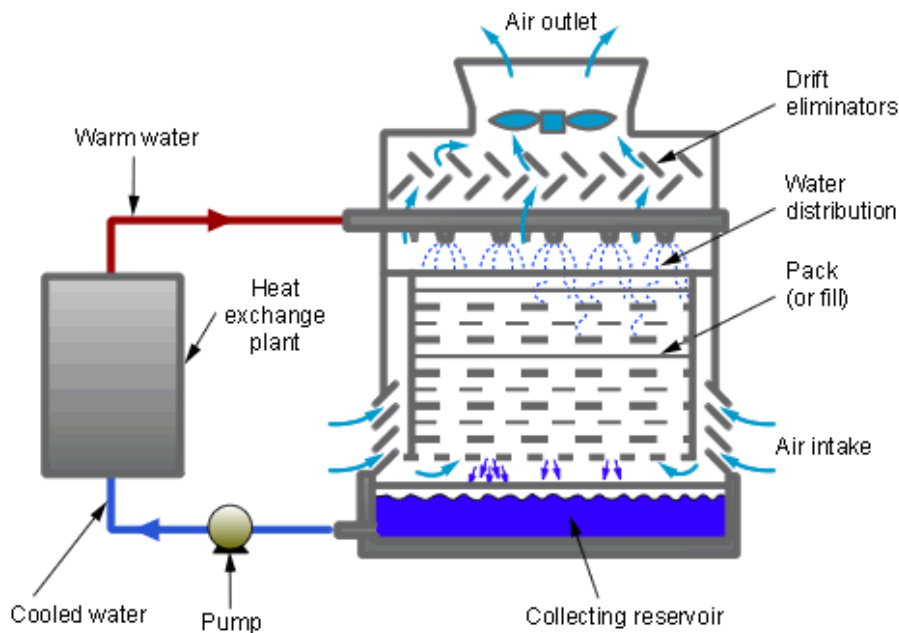


Figura 1.26 Esquema d'una torre de refrigeració.

El que succeeix és que hi ha una transmissió de calor i matèria de l'aigua cap a l'aire deguda a dos mecanismes: transmissió per convecció i transferència de vapor des de l'aigua cap a l'aire, amb el consegüent refredament de l'aigua degut a l'evaporació.

En la transmissió de calor per convecció, es produeix un flux de calor en direcció a l'aire que rodeja l'aigua a causa de la diferència de temperatures entre ambdós. La taxa de refredament per evaporació és de gran magnitud en aquests equips: al voltant d'un 90% és deguda al fenomen de difusió. En entrar en contacte l'aire amb l'aigua es forma una fina pel·lícula d'aire humit saturat sobre la làmina d'aigua que descendeix pel material d'empacat. Això és degut a que la pressió parcial de vapor d'aigua en la pel·lícula d'aire és superior a la de l'aire humit que circula per la torre, produint-se una cessió de vapor d'aigua (evaporació). Aquesta massa evaporada d'aigua, és la que extrau calor el calor latent de vaporització del propi líquid, sent cedit a l'aire, de tal forma que s'obté un refredament de l'aigua i un augment de la temperatura de l'aire. La diferència de temperatures de l'aigua de sortida i la temperatura humida s'anomena temperatura d'aproximació, ja que representa el límit termodinàmic al que pot arribar l'aigua.

1. Especificacions del projecte

Des d'un punt de vista termodinàmic, aquest fenomen es pot explicar a partir de la següent figura:

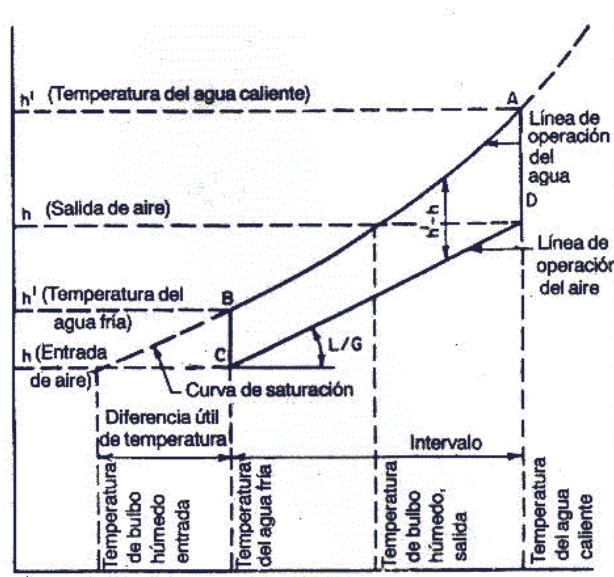


Figura 1.27 Procés termodinàmic d'una torre de refrigeració.

El refredament de l'aigua és degut a la diferència de potencial d'entàlpia d'ambdós fluids, el qual actua com a força impulsora.

Se suposa que cada partícula està rodejada per una pel·lícula d'aire i que la diferència d'entàlpia entre aquesta i l'aire circulat proporciona la força impulsora per al procés de refredament. Aquest fet pot observar-se en la figura 1.23, la qual mostra un esquema típic per a una torre de refrigeració en contracorrent. La línia AB representa l'operativa de l'aigua i s'especifica mitjançant la temperatura d'aquesta a l'entrada i la sortida de la torre. Per altra banda, l'operativa de l'aire comença en C, verticalment per sota de B, i en un punt que té una entàlpia corresponent a la temperatura d'entrada de bulb humit. La línia BC, representa la força impulsora inicial ($h' - h$). L'aire que surt de la torre es representa per mitjà del punt D, i el rang de refredament és la longitud projectada de la línia CD sobre l'escala de temperatures.

Tots aquests punts teòrics, es duren a terme a nivell pràctic alhora de fer el càlcul del dimensionament de la torre, el qual es pot consultar en l'apartat 11 del present projecte.

Finalment, abans de passar als balanços de la torre, és necessari distingir entre els principals tipus de torres de refrigeració que existeixen, a fi de trobar el que millor s'adequa a les necessitats del procés.

1. Especificacions del projecte

1.8.7.2- Tipus de torres de refrigeració

La forma més habitual de classificar les torres de refrigeració és segons com circula l'aire a través d'aquestes. D'acord amb aquest criteri, existeixen torres de circulació natural i torres de tir mecànic. La principal diferència és que mentre en les torres de circulació natural l'aire es mou únicament per les condicions climàtiques, en les de tir mecànic s'utilitzen també ventiladors. Tot seguit, es farà una descripció més detallada d'ambdós tipus:

o Torres de circulació natural

A la vegada es classifiquen en atmosfèriques i torres de tir natural.

Les torres atmosfèriques utilitzen els corrents de l'aire de l'atmosfera. Aquest es mou de forma horitzontal i l'aigua cau verticalment (flux creuat). Són torres de gran altura i petita secció transversal. S'han d'instal·lar en llocs molt despejats, de tal forma que cap obstacle pugui impedir la lliure circulació d'aire a través de la torre. Aquest tipus de torre té un cost inicial elevat, degut a les seves grans dimensions, però el cost de manteniment és força baix, al no existir parts mecàniques mòbils. Una torre d'aquest tipus pot ser una solució molt econòmica per a determinades necessitats de refrigeració si es pot garantir que funcionarà habitualment exposada a vents amb velocitats iguals o superiors a 8 Km/h. Si la velocitat promig del vent és baixa, els costos fixes i de bombeig augmenten molt en relació a una torre de tir mecànic i no compensen l'estalvi del cost de ventilació. En la següent figura, es pot observar una torre d'aquest tipus:

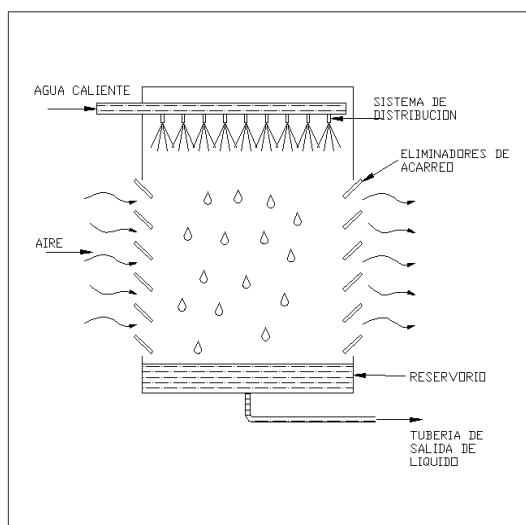


Figura 1.28 Esquema d'una torre de refrigeració atmosfèrica.

1. Especificacions del projecte

Per altra banda, una torre de tir natural és aquella en la que l'aire és induït per una gran xemeneia situada sobre el rebliment. La diferència de densitats entre l'aire humit calent i l'aire atmosfèric és el principal motiu pel qual es crea el tir d'aire a través de la torre. La diferència de velocitats entre el vent circulant a nivell del terra i el vent que circula per la part superior de la xemeneia també ajuda a establir el flux d'aire. Degut a aquests dos motius, les torres de tir natural han de ser altes i, a part, han de tenir una secció transversal gran per a facilitar el moviment de l'aire ascendent. Aquest tipus de torres presenta un baix cost de manteniment i són molt indicades per refredar grans cabals d'aigua. A l'igual que les torres atmosfèriques, no tenen parts mecàniques. La velocitat mitjana de l'aire a través de la torre sol estar compresa entre 1 i 2 m/s. Les torres de tir natural no són adequades quan la temperatura seca de l'aire és elevada, ja que aquesta ha de ser sempre inferior a la de l'aigua calenta. No és possible aconseguir un valor d'apropament petit i és molt difícil controlar exactament la temperatura de l'aigua. En les torres de tir natural no es poden utilitzar empacats empacaments de gran compacticitat, ja que la resistència al flux d'aire ha de ser el més petita possible. Aquestes torres són molt utilitzades en centrals tèrmiques; molt poques vegades són aplicables a plantes industrials degut a la forta inversió inicial necessària.

Finalment, es presenta un esquema d'una torre de tir natural:

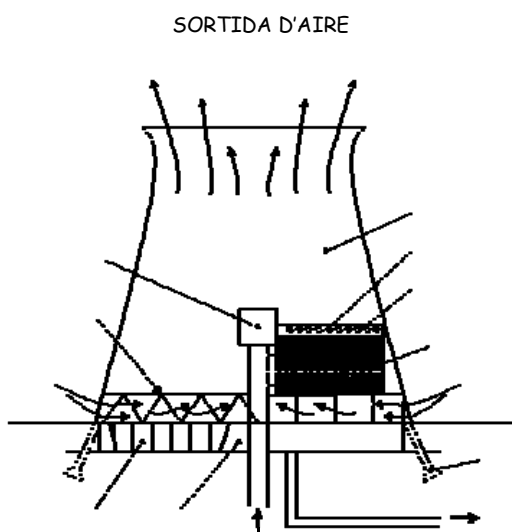


Figura 1.29 Esquema d'una torre de refrigeració de tir natural.

1. Especificacions del projecte

o Torres de tir mecànic

Les torres de tir mecànic proporcionen un control total sobre el cabal d'aire subministrat. Es tracta de torres compactes, amb una secció transversal i una altura de bombeig petites en comparació amb les torres de tir natural. En aquest tipus de torre es pot controlar de forma precisa la temperatura de l'aigua de sortida i a la vegada és possible aconseguir valors de temperatura d'aproximació molt petits (fins a 1 o 2 °C, tot i que a la pràctica acostumen a ser de 3 a 4°C). Si el ventilador es troba situat a l'entrada de l'aire, el tir és forçat. Per altra banda, si el ventilador s'ubica en la zona de descàrrega de l'aire, es tracta de tir induït.

En les torres de tir forçat l'aire es descarrega a baixa velocitat per la part superior de la torre, tal com es pot observar en la figura 1.26. Aquestes torres són, quasi sempre, de flux a contracorrent. Són més eficaces que les torres de tir induït, degut a que la pressió dinàmica convertida a estàtica realitza un treball útil. L'aire que es mou és aire fred de major densitat que en el cas de tir induït. Això vol dir que l'equip mecànic tindrà una duració major que en el cas de tir induït, ja que el ventilador treballa amb aire fred i no pas saturat, essent menys corrosiu que l'aire calent i saturat de sortida. Com a inconvenient cal mencionar la possibilitat de que existeixi recirculació de l'aire de sortida cap a la zona de baixa pressió, creada pel ventilador en l'entrada de l'aire.

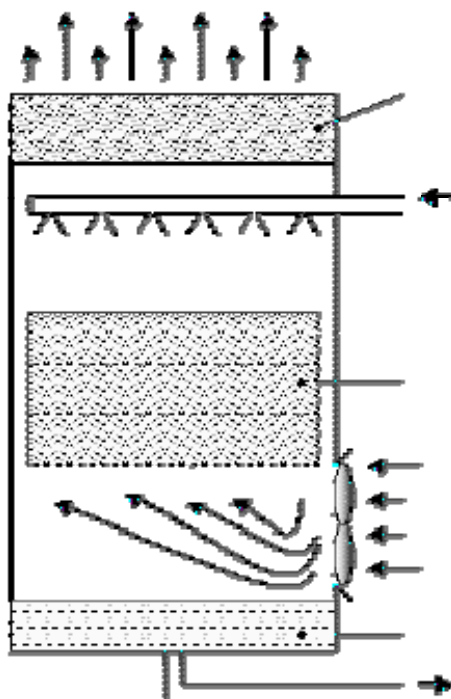


Figura 1.30 Esquema d'una torre de refrigeració de tir forçat.

1. Especificacions del projecte

Per altra banda, les torres de tir induït es classifiquen en dos tipus: de flux en contracorrent i de flux creuat. El flux en contracorrent es caracteritza perquè l'aire es mou verticalment a través de l'empacat, de manera que els fluxos d'aire i aigua tenen la mateixa direcció però sentit oposat. L'avantatge que té aquest tipus de torre és que l'aigua més freda es posa en contacte amb l'aire més sec, aconseguint-se així un major rendiment. En aquestes torres, l'aire pot entrar per una o més parets de la torre, de tal forma que s'aconsegueix reduir en gran mesura l'altura de l'entrada d'aire. A part, l'elevada velocitat amb la que entra l'aire fa que existeixi el risc d'arrossegament de brutícia i partícules dins de la torre. La resistència de l'aire que ascendeix contra l'aigua que cau es tradueix en una gran pèrdua de pressió estàtica i en un augment de la potència de ventilació en comparació amb les torres de flux creuat.

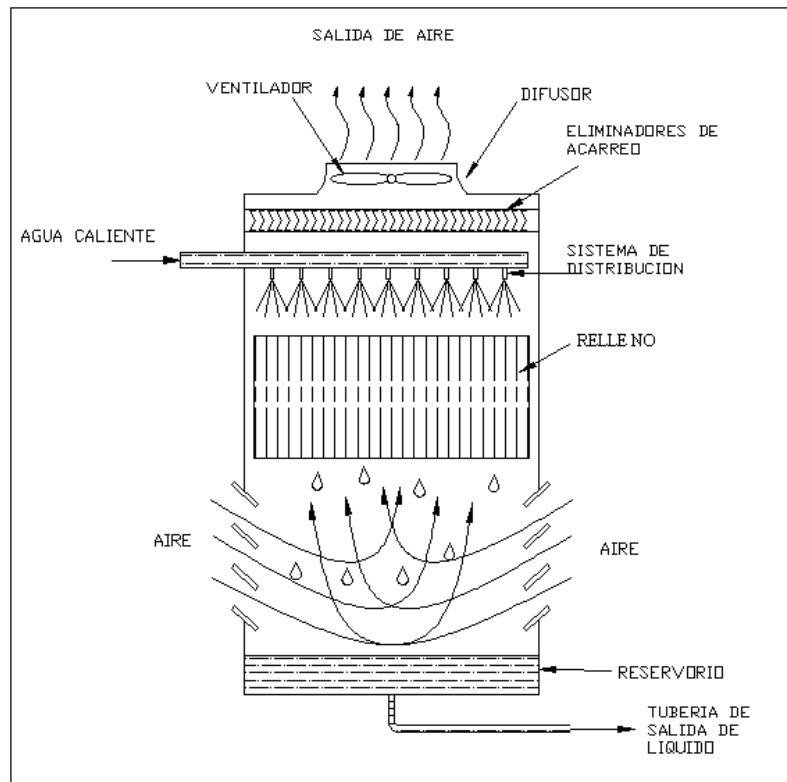


Figura 1.31 Esquema d'una torre de refrigeració induïda de flux en contracorrent.

1. Especificacions del projecte

Finalment, les torres induïdes de flux creuat es caracteritzen perquè l'aire circula en direcció perpendicular respecte a l'aigua que descendeix. Aquestes torres tenen una altura menor que les torres de flux en contracorrent, ja que l'altura total de la torre és pràcticament igual a la de l'empacament. El manteniment d'aquestes torres es menys complicat que en el cas de les torres en contracorrent, degut a la facilitat amb la que es poden inspeccionar els diferents components interns de la torre. La principal desavantatge d'aquesta torre és que no són recomanables per a aquells casos en els que es requereixi un gran salt tèrmic i un valor d'apropament petit, ja que això significarà més superfície transversal i més potència de ventilació, en comparació amb una torre de flux en contracorrent.

A continuació, es presenta un esquema d'aquest tipus de torre:

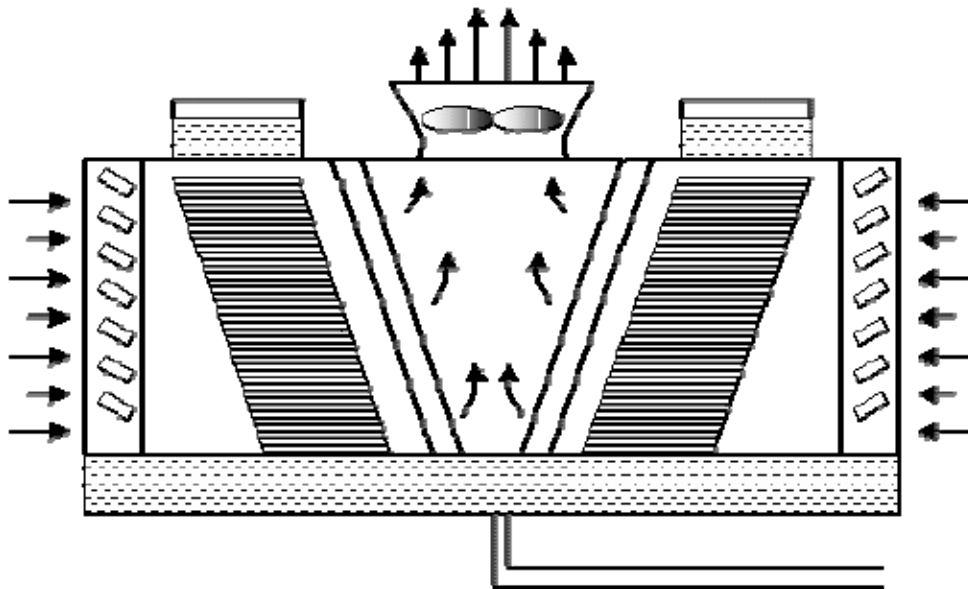


Figura 1.32 Esquema d'una torre de refrigeració induïda de flux creuat.

1. Especificacions del projecte

1.8.7.3- Elecció torre de refrigeració

D'acord amb tots els punts anteriorment exposats i les característiques de l'aigua de torre necessària a planta, es decideix optar per una torre de flux induït en contracorrent, degut a l'elevat rendiment que presenta al posar en contacte l'aigua més calenta amb l'aire més fred. Al manual de càlculs del present projecte, es poden observar els diferents consumidors d'aigua de torre, així com una descripció detallada de l'equip escollit i l'empresa subministradora.

1. Especificacions del projecte

1.8.8 CALDERA DE VAPOR

Al llarg de la planta, hi ha varis equips que requereixen un fluid tèrmic calent, per tal d'escalfar els productes de procés. Aquests equips són els rebòilers de les columnes, els bescanviadors de calor del procés i els evaporadors tipus kettle per dur els reactius de cada reactor a fase gas.

D'acord amb els requeriments energètics de tots aquests equips, s'ha decidit utilitzar com a fluid tèrmic vapor d'aigua, el qual es genera en una caldera de vapor. Tot seguit, es farà una breu descripció dels diferents tipus de caldera, juntament amb l'elecció feta, ja que aquesta –igual que la torre de refrigeració- és una elecció clau, degut a que té una incidència directe sobre l'economia de la planta.

1.8.8.1- Introducció

Una caldera de vapor és un equip a pressió on el calor procedent de qualsevol font d'energia es transforma en calor utilitzable, en forma de calories, a través d'un medi de transport, en aquest cas, vapor d'aigua. Existeixen diversos tipus de calderes de vapor, però totes elles segueixen un esquema bàsic de funcionament:

- a) La caldera de vapor rep l'aigua d'alimentació, que està constituïda per una proporció variable d'aigua nova, anomenada aigua d'aportació, i d'aigua de retorn que torna de la instal·lació a partir dels condensats de vapor.
- b) Aquesta aigua que arriba a la caldera, vaporitza, convertint-se així en vapor d'aigua.
- c) Una certa part d'aquesta aigua d'alimentació, però, no vaporitza i es manté en estat líquid. Aquest és un punt clau, ja que aquesta aigua es concentra amb totes les partícules contingudes en la part d'aigua que ja evaporat.
- d) S'efectua un procés de purga o extracció per a eliminar aquesta aigua en fase líquida concentrada.

1. Especificacions del projecte

Finalment, a la següent figura es presenta un esquema típic de caldera de vapor:

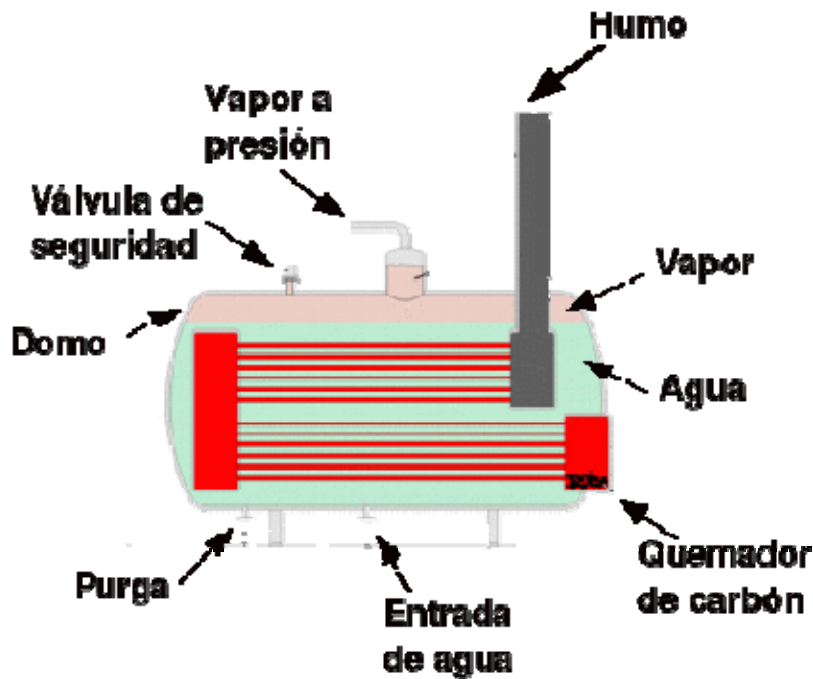


Figura 1.33 Esquema d'una caldera de vapor.

1.8.8.2- Tipus de calderes de vapor

Són varies les classificacions existents dels tipus de calderes de vapor. No obstant la principal és en funció del pas del fluid caloportador a través dels tubs d'intercanvi. D'acord amb això, les calderes es classifiquen en acotubulars i piro-tubulars.

o Calderes acotubulars:

Són aquelles en les que el fluid de treball es desplaça per l'interior dels tubs durant el seu escalfament, mentre que els gasos de combustió ho fan per l'exterior d'aquests. La seva principal aplicació és quan es requereix una pressió de treball per sobre dels 22 bar. Són calderes que generalment tracten volums petits d'aigua, essent classificades doncs com a tipus I (*veure apartat de Seguretat i Higiene*).

Les calderes acotubulars presenten un títol de vapor molt baix (0,85), és a dir, el contingut d'aigua per unitat de massa és molt elevat (0,15), a no ser que se'ls afegeixin subconjunts assecadors, tals com sobrecalentadors o recalentadors.

1. Especificacions del projecte

Aquest tipus de caldera requereix una alta qualitat de l'aigua d'entrada a fi d'evitar desviacions de la idealitat del procés, tal com es comentarà en el següent apartat. Finalment, a la següent figura es pot observar l'esquema d'una caldera tipus acotubular:

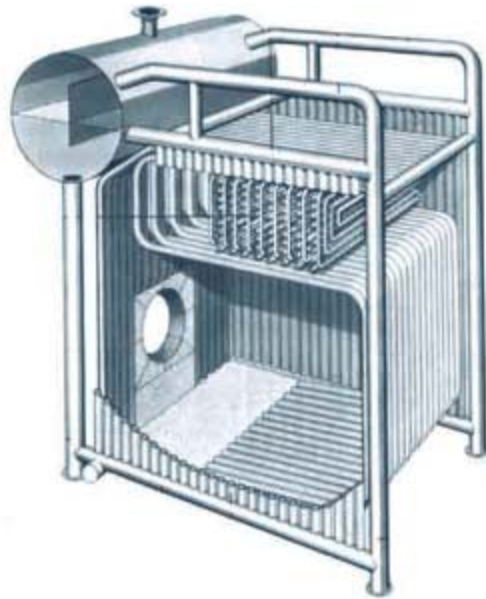


Figura 1.34 Esquema d'una caldera de vapor tipus acotubular.

o Calderes pirotubulars:

Són aquelles en les que els gasos de la combustió circulen per l'interior dels tubs, mentre que el líquid es troba en un recipient travessat per tals tubs. La seva aplicació principal és quan es requereixen pressions de treball inferiors als 22 bar.

Degut al seu disseny, tenen un gran volum d'aigua, motiu pel qual generalment es troben classificades dins dels Tipus II de calderes. Aquest volum d'aigua permet, a la vegada, una millor adaptació de la caldera a les necessitats i demandes variants de la planta.

El vapor produït per aquest tipus de calderes sol tenir un títol de vapor proper a 1, és a dir, que el contingut d'aigua per unitat de massa és baix (generalment <3%), fet que fa que no sigui necessària la instal·lació d'equips auxiliars complementaris. A part, com ja s'ha esmentat anteriorment, les exigències de la qualitat de l'aigua per a aquest tipus de calderes són menors que en el cas de calderes tipus acotubulars.

1. Especificacions del projecte

Dins del tipus de calderes pirotubulars, existeix una subclassificació en funció del feix de tubs o del número de feixos de tubs. Pel que fa a la primera d'aquestes, es té:

- Calderes horitzontals: el feix de tubs es troba disposat de la part anterior a la posterior de la caldera.



Figura 1.35 Caldera de vapor pirotubular-horitzontal.

- Calderes verticals: el feix de tubs està disposat de la part inferior a la superior de la caldera.

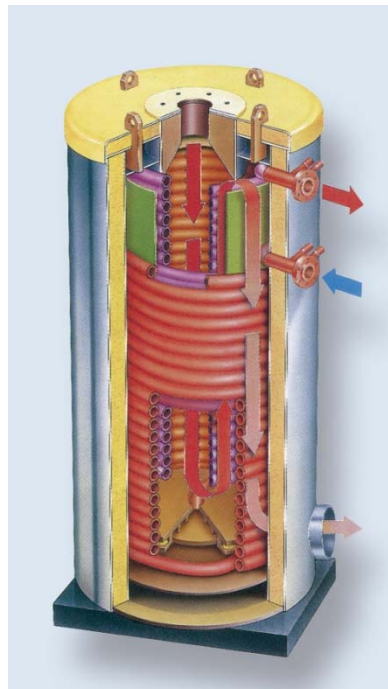


Figura 1.36 Caldera de vapor pirotubular-vertical.

1. Especificacions del projecte

En funció del número de feixos de tubs es té:

- Caldera de dos passos de gasos:

En aquest tipus de calderes es distingeixen clarament dues vies de pas autònoms de circulació dels productes de combustió. Es pot diferenciar una càmera cilíndrica de combustió, localitzada a la part inferior de la caldera i rodejada per una paret posterior totalment refrigerada per aigua (càmera humida).

Els gasos de combustió produïts pel cremador en la part posterior de la càmera de combustió flueixen en sentit invers a través de la càmera cilíndrica, tornant cap al nucli de la flama per la zona exterior de la mateixa i fins a la part anterior de la caldera, a fi d'introduir-se en els tubs del segon pas de fums.

Tot seguit, els gasos de combustió de les calderes són dirigits cap a la caixa de gasos posterior i evacuats al exterior.

Aquest tipus de calderes es caracteritzen pel seu baix rendiment, així com un alt contingut de substàncies contaminants en els seus gasos de combustió.

Tot seguit, es presenta un esquema d'aquest tipus de calderes:

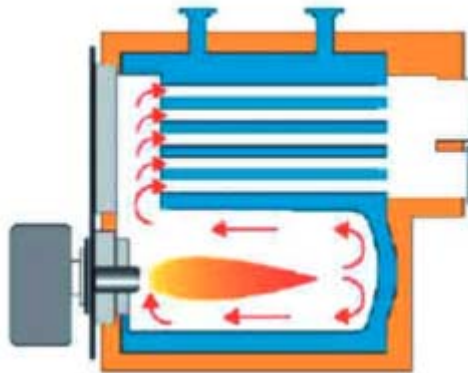


Figura 1.37 Caldera de vapor pirotubular-2 passos per tubs.

1. Especificacions del projecte

- Caldera de tres passos per gasos:

A diferència que en el cas anterior, ara es distingeixen tres vies autònomes de sentit únic de circulació dels productes de combustió. Es pot diferenciar, igual que en el cas anterior, una càmera cilíndrica de combustió (1) a la part inferior de la caldera, la qual es troba rodejada per una paret posterior i totalment refrigerada per aigua.

Els gasos de combustió produït pel cremador en la part superior de la càmera de combustió flueixen a través dels tubs de gasos en el segon pas per tubs (2).

Seguidament, els gasos de combustió de la caldera canvien de direcció en a part frontal d'aquesta, passant a través dels tubs de fums (3) en el tercer pas per tubs, cap al conducte d'expulsió de gasos (4) pel qual s'evacuen a l'exterior.

Les calderes bassades en aquest principi es caracteritzen pel seu alt rendiment, així com pel baix contingut de substàncies contaminants en els seus gasos de combustió. Aquestes calderes poden ser instal·lades complint les exigències mediambientals més rigoroses.

Finalment, es presenta un esquema de tals calderes:

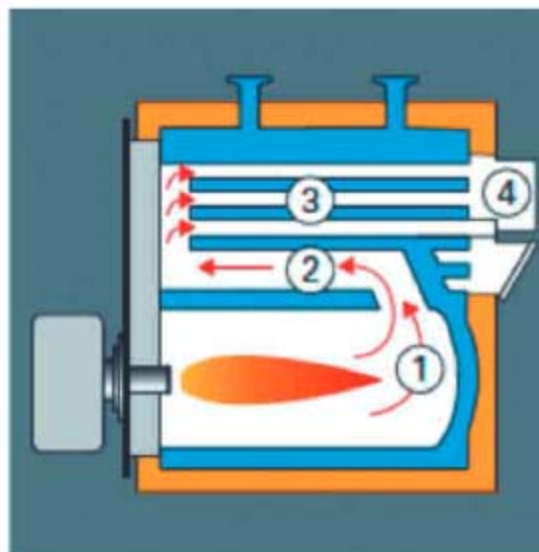


Figura 1.38 Caldera de vapor pirotubular-3 passos per tubs.

1.8.8.3- Elecció caldera de vapor

D'acord amb tot l'exposat anteriorment, es decideix treballar amb una caldera pirotubular de tres passos per gasos. Al apartat de càlculs d'aquest projecte es poden veure els balanços i la llista de consumidors de vapor.

1. Especificacions del projecte

1.8.9 EQUIP DE FRED: R-1270

1.8.9.1- Elecció caldera de vapor

En diversos punts de la planta és necessari refredar a temperatures molt baixes, especialment en els condensadors de les columnes. Per aquest motiu s'ha escollit com a refrigerant propilè, R-1270 comercialment, a fi de poder abastir aquest servei.

L'equip de fred per tal de dur a terme el cicle de refredament del propilè serà un chiller. Aquest tipus d'equips aconseguen refredar fins a molt baixes temperatures aprofitant un cicle format per 4 etapes:

- o Compensió: Etapa en la qual un compressor subministra energia al sistema. El refrigerant arriba en estat gasós al compressor i augmenta la seva pressió.
- o Condensació: Etapa en la qual en un intercanviador de calor es disipa el calor absorbit en l'evaporador i l'energia del compressor. Aquí té lloc el canvi de fase, de gas a líquid.
- o Expansió: El refrigerant líquid entra en un sistema d'expansió, on disminueix la seva pressió. D'aquesta forma es redueix dràsticament la seva temperatura.
- o Evaporador: El refrigerant a baixa temperatura i pressió passa per un altre intercanviador de calor i absorbeix el calor del recinte on està situat. El refrigerant líquid que entra al evaporador passa a estat gasós.

Aquest cicle de 4 etapes es pot veure il·lustrat en la següent figura:

1. Especificacions del projecte



Figura 1.39 Etapes del cicle frigorífic del chiller.

1.8.9.2- Elecció equip de fred

Com ja s'ha esmentat anteriorment, es treballarà amb un chiller per tal de subministrar les necessitats de fred a la planta. No obstant, l'elecció d'aquest equip depèn dels requeriments de cabal, temperatura, pressió, etc. de la planta. Així doncs, els balanços de consimidors i l'elecció de l'equip es poden consular en l'apartat 11 del present projecte.