



Planta química per a la producció de FREÓ-13

**Autors:**

Caterina Bartomeu García
Diego Chipantasi Quispe
Anabel Romero Jimenez
Manel Rovira Blanco
Alberto Sánchez Rodríguez

Tutor:

Carles Solà i Ferrando

Titulació:

Grau en Enginyeria Química

5 de Juny de 2015

1. ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO



ÍNDEX

1.1.	Definició del projecte	3
1.1.1.	Bases del projecte	3
1.1.2.	Abast del projecte	3
1.1.3.	Localització de la planta	4
1.1.4.	Nomenclatura.....	8
1.2.	Descripció del procés de fabricació.....	9
1.2.1.	Procés de producció de FREÓ-13	9
1.2.2.	Descripció detallada del procés	10
1.2.3.	Diagrama de blocs	10
1.2.4.	Propietats dels diferents compostos.....	16
1.3.	Constitució de la planta.....	20
1.3.1.	Àrees.....	21
1.3.2.	Planificació temporal.....	24
1.3.3.	Plantilla treballadors	27
1.4.	Balanç de matèria.....	28
1.5.	Especificacions i necessitats de serveis.....	34
1.6.	Bibliografia	65

1.1. Definició del projecte

L'objectiu principal d'aquest projecte és el disseny d'una planta química per a la producció de FREÓ-13 a partir d'àcid fluorhídric i tetraclorur de carboni. El projecte ha de ser viable tant com en termes de disseny com econòmicament, la planta ha de funcionar complint la normativa urbanística i sectorial i la legislació tant en la seguretat dels treballadors com en el medi ambient.

En aquest projecte s'exposaran les dades de disseny, muntatge, posada en marxa i operació de la planta que permetran comprendre el funcionament d'aquesta.

1.1.1. Bases del projecte

El projecte engloba les àrees següents:

- Unitats de procés i reacció per la producció i purificació de FREÓ-13.
- Unitats d'emmagatzemat de matèries primes i estacions de càrrega i descàrrega.
- Emmagatzemat del producte acondicionat.
- Àrea de servei.
- Vestuaris, laboratoris i oficines.
- Àrees auxiliars (Parking, control d'accés, contra incendis)

La planta CADMA chemicals ha de produir 10.000 tones/any de FREÓ-13, amb un funcionament de 300 dies l'any amb dues parades per tal de poder realitzar les tasques de manteniment.

1.1.2. Abast del projecte

El projecte inclou els aspectes següents:

- Disseny i especificacions de totes les unitats que formen part del procés de producció de FREÓ-13.
- Disseny i especificacions de les unitats d'emmagatzematge de matèries primes, subproductes generats durant el procés i producte final.
- Disseny i especificacions de tot el sistema de control necessari per garantir que la planta funcioni correctament.
- Disseny del sistema de seguretat e higiene adequat a la planta.

- Especificacions de les unitats de serveis necessàries.
- Estudi medi ambiental i compliment de la legislació vigent.
- Anàlisi de la viabilitat econòmica del projecte.
- Posada en marxa, parada i operació en planta.
- Diagrames generals, P&ID i implementació.

1.1.3. Localització de la planta

El projecte es durà a terme en el municipi de Sabadell, concretament al terreny fictici en el polígon industrial “ Gasos Nobles”. Tal i com es pot comprovar a la Figura 1.1, aquest municipi es troba a la província de Barcelona, al Nord-Oest d’Espanya, per tant la normativa urbanística aplicada serà la de la comarca del Barcelonès.



Figura 1.1. Mapa de la península ibèrica

El terreny del que es disposa per a la construcció de la planta té un àrea total de 70.095 m², una resistència de 2 kg/cm² a 1.5 m de profunditat sobre grava. Els serveis dels quals es disposa en aquesta parcel·la es mostren a la taula següent:

Taula 1.1. Serveis de planta

SERVEI	CONNEXIÓ
Energia elèctrica	Connexió a peu de parcel·la (20 KW)
Gas natural	Connexió a peu de parcel·la (1.5 kg/cm ²)
Clavegueram	Xarxa unitària al centre del carrer Profunditat: 3,5 m Dcol·lect: 800 mm
Aigua d'incendis	Màxima pressió de 4 kg/cm ²
Aigua de xarxa	Escomesa a peu de parcel·la a 4 Kg/cm ² . Resistència del terreny de 2 Kg/cm ² 1,5 m de profunditat sobre graves

Els paràmetres d'edificació del polígon "Gasos Nobles" són els següents:

Taula 1.2. Paràmetres d'edificació

PARÀMETRE	
Edificabilitat	1.5 m ² sostre/ m ² sòl
Ocupació màxima de parcel·la	75%
Ocupació mínima de parcel·la	20% de la superfície d'ocupació màxima
Reculades	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
Parking	1 plaça/ 150 m ² construïts
Distància entre edificis	1/3 de l'edifici més alt amb un mínim de 5 m

A la figura següent es mostra el pla de la parcel·la on es situarà la planta CADMA chemicals:

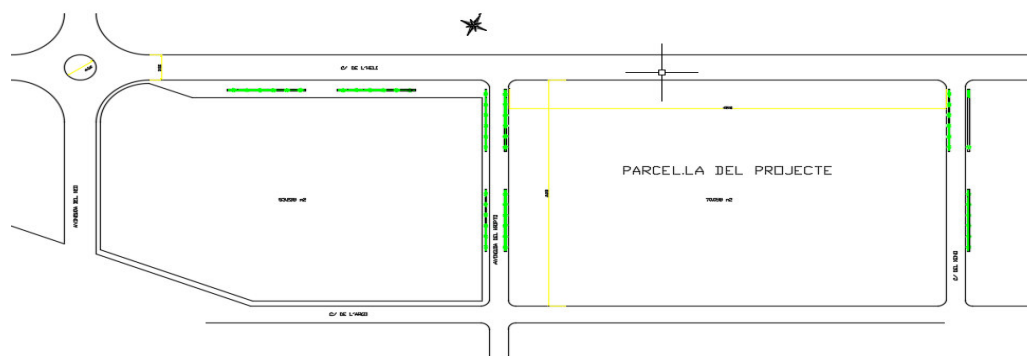


Figura 1.2. Plànol de la parcel·la

1.1.3.1. *Climatologia i sismologia de la zona*

El municipi de Sabadell és un del caps de la comarca del Vallés Occidental juntament amb Terrassa. El clima es caracteritza per ser suau, mediterrani, on la influència de la Serralada Litoral és mínima. A Sabadell, cap al centre de la comarca, la temperatura mitjana és de 15.6 °C; en els últims anys la temperatura més desfavorable al gener ha estat de -4 °C i a l'agost de 40 °C. Les precipitacions en aquesta zona són molt irregulars, però presenten una mitjana de 605 mm l'any aproximadament. Els màxims principals s'enregistren a la primavera i especialment a la tardor, que és quan són de caràcter torrencial, i habitualment, provoquen la crescuda dels rius i rieres que donen lloc a inundacions catastròfiques com les de 1956. A l'hivern i sobretot a l'estiu la sequera és molt intensa.

En quant a la sismologia de la zona, Sabadell pertany a la Mediterrània Occidental la qual està situada en una zona de col·lisió entre les plaques tectòniques d'Europa i d'Àfrica. La taxa de convergència és moderada i per tant els terratrèmols, que són el resultat d'aquest moviment, es produeixen, afortunadament, amb poca freqüència. No obstant, malgrat el perill moderat que tingui un terratrèmol destructor, els seus efectes generalitzats i el seu caràcter, avui dia encara totalment imprevisible, fan necessària la consideració del risc sísmic mitjançant una prevenció adequada fent un seguiment proper i determinant i caracteritzant les zones sísmiques. Segons l'Institut Cartogràfic de Catalunya, Sabadell es troba dins de la zona sísmica 2, amb una intensitat màxima de VII en l'escala MSK.

1.1.3.2. *Xarxa de comunicacions de Sabadell*

A l'hora d'escollir el terreny on es construirà la planta química d'interès, és molt important tenir en compte que aquest disposa d'una bona xarxa de comunicacions així com d'una bona accessibilitat a la planta per tal subministrar a la planta les matèries primes necessàries i posteriorment, poder comercialitzar tant els subproductes com el producte final.

Sabadell està perfectament comunicat amb tota la península ibèrica així com amb la resta d'Europa. Aquest municipi disposa d'importantes vies terrestres que permeten i garanteixen el transport de mercaderies ràpidament.

Els diferents tipus d'accés per al transport de mercaderies dels quals disposa Sabadell són els següents:

- **Xarxa terrestre:** Els accessos més importants per via terrestre tal i com es pot comprovar són l'autopista AP-7 la qual forma part de la Xarxa de Carreteres Europees i comunica tota la costa mediterrània des de la frontera amb França fins Algeciras, la carretera comarcal C-58 la qual permet un tràfic fluid i una bona accessibilitat a tot el municipi des de qualsevol punt de la comarca, i la carretera nacional N-150.



Figura 1.3. Mapa de la xarxa terrestre

- **Xarxa marítima:** Els ports més importants en quant al transport de mercaderies i més propers a Sabadell són el port de Barcelona i el port de Tarragona a 37 i 110 km de distància respectivament. El port de Barcelona és un port comercial de màxima importància en el mediterrani i actualment és el tercer d'Espanya en el ranking de moviment de mercaderies .
- **Xarxa ferroviària:** Al municipi de Sabadell la xarxa ferroviària de la qual disposa està especialitzada en el transport de passatgers i no pas de mercaderies.
- **Xarxa aèria:** A una distància de 37 km de Sabadell es troba l'Aeroport de Barcelona-El Prat. Aquest aeroport és el major en extensió i tràfic de Catalunya i el segon de tràfic d'Espanya darrera de l'Aeroport de Madrid-Barajas. No obstant, segons el Ministeri de Foment Espanyol aquesta xarxa per tal de transportar mercaderies a nivell espanyol és la menys utilitzada de totes.

1.1.4. Nomenclatura

En aquest apartat es mostren les abreviacions de tots el equips i substàncies emprades al llarg de tot el procés les quals s'han utilitzat al llarg de tot el projecte:

Taula 1.3. Abreviacions

ABREVIACIÓ	EQUIP
TE	Tanc emmagatzematge
TP	Tanc pulmó
CD	Columna de destil·lació
CA	Columna d'absorció
R	Reactor
B	Bescanviador de calor
P	Bomba
V	Vàlvula
AG	Agitador
K	Compressor
CH	Chiller
BA	Balança de camions
TR	Torre de refrigeració
CO	Caldera oli tèrmic
ET	Estació transformadora
G	Grup electrogen

Taula 1.4.. Abreviacions substàncies.

ABREVIACIÓ	SUBSTÀNCIA
HCl	Àcid clorhídric
HF	Àcid fluorhídric
H ₂ O	Aigua
CCl ₄	Tetraclorur de carboni
CClF ₃	Clorotrifluorometà (FREÓ-13)
CCl ₃ F	Triclorofluorometà (FREÓ-11)
CCl ₂ F ₂	Diclorodifluorometà (FREÓ-12)
AlCl ₃	Clorur d'alumini
SbCl ₅	Pentaclorur d'antimoni
Aire	Air

1.2. Descripció del procés de fabricació

1.2.1. Procés de producció de FREÓ-13

Per dissenyar el procés de producció del clorotrifluorometà (FREÓ-13), s'han plantejat diverses opcions a partir de les diferents patents que se'ns han subministrat, així com d'altres obtingudes duent a terme la recerca d'informació. Malauradament, aquest refrigerant no es produeix actualment en països desenvolupats, ja que tots els països que van acceptar el protocol de Montreal l'any 1989 van pactar deixar de produir productes CFC, degut al seu poder destructiu de la capa d'ozó. És per això, que algunes de les patents seguides daten de fa bastants anys, encara que aporten la suficient informació per poder fer servir l'enginy, i dissenyar un procés productiu eficient i adaptat a les tecnologies actuals.

Un cop s'han valorat diferents alternatives per a la producció del refrigerant, s'ha pogut observar que el procés de producció es pot dividir en dos passos significatius. El primer d'aquests passos consisteix en dissenyar un procés de producció eficient que doni com a producte diclorodifluorometà (FREÓ-12), fent que el tetraclorur de carboni (CCl_4) sigui la principal matèria primera. Per poder dur a terme aquest pas, s'ha de donar una reacció que doni àtoms de fluor al reactiu, de manera que aquest passi a triclorofluorometà (FREÓ-11), en un primer pas, per a que en una reacció consecutiva de la mateixa naturalesa s'obtingui CCl_2F_2 .

En una segona part del procés, un cop s'hagués obtingut el FREÓ-12, s'ha de promoure un cop més, una reacció de fluoració, que condueixi a la formació del producte desitjat, el FREÓ-13.

Els productes que participen en els processos, degut a que són emprats com refrigerants, requereixen de condicions bastant severes pel que fa a condicions d'operació en pressió i temperatura, per la qual cosa el procés productiu adquirirà certa complexitat.

A continuació es descriuen amb més profunditat i detall cadascuna de les etapes del procés implantat.

1.2.2. Descripció detallada del procés

1.2.3. Diagrama de blocs

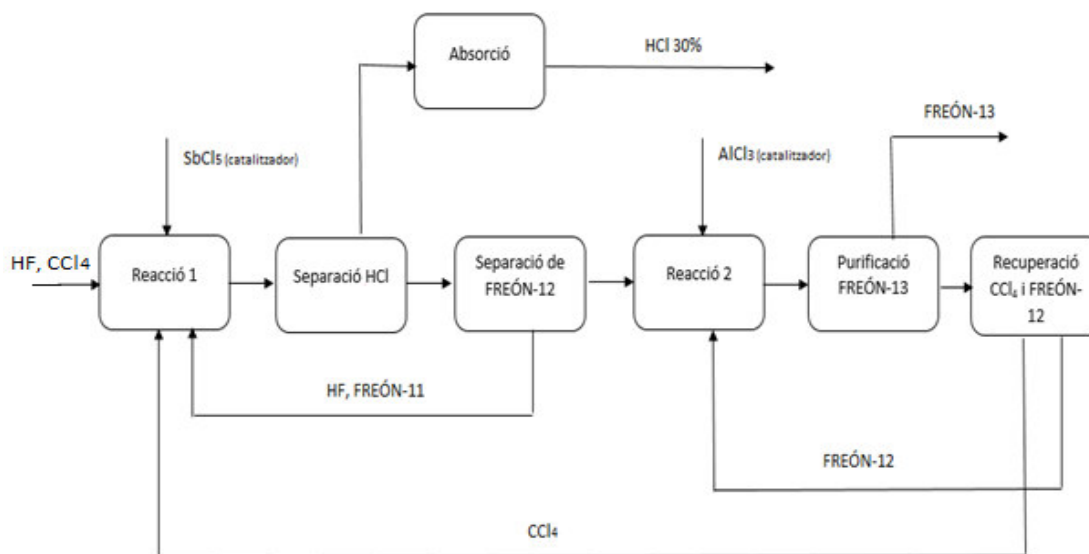
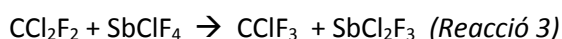
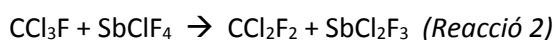
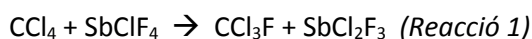


Figura 1.4. Diagrama de blocs.

- **Reacció 1**

El pas previ a la producció del Freó 13, el producte desitjat, és dur a terme el conjunt de reaccions que donen com a producte el Freó 12. Els reactius emprats en aquesta etapa del procés són el tetraclorur de carboni, com s'ha esmentat abans, i fluorur d'hidrogen, el qual servirà com a donador d'àtoms de fluor. La reacció de fluoració es dona en un RCTA isoterm de tanc agitat, de la manera com es mostra en les reaccions que s'aporten a continuació:



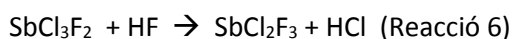
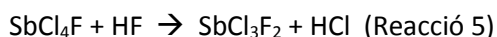
L'objectiu principal és que es produeixi la reacció de fluoració del tetraclorur de carboni, de manera que aquest doni com a producte el clorotrifluorometà. En una reacció en sèrie, aquest també reacciona formant-se diclorodifluorometà, considerat el producte de major interès, ja que serà utilitzat per poder obtenir CCl_3F . Tot i així, en el reactor també es produeix una quantitat de Freó 13, encara que només ho fa en quantitats de ppm, degut a que la reacció 3 té una constant cinètica molt més petita que les reaccions 1 i 2. Les constants cinètiques de la reacció 1 i 2 es mostren a continuació.

$$K_1 = 22.0963 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

$$K_2 = 0.8499 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ h}^{-1}$$

El valor de les constants cinètiques mostren com la reacció limitant és la que dona com a producte el diclorodifluorometà, per la qual cosa el disseny del reactor es farà en funció de la conversió assolida en la reacció 2.

Per a que el tetraclorur reaccioni i es formi FREÓ-12, s'empren el pentaclorur d'antimoni com a catalitzador. Aquest component és el donador d'àtoms de fluor, ja que aquesta reacció no es pot fer directament fent servir únicament CCl_4 i HF. El fluorur d'hidrogen és el que activa el catalitzador, fent que passi de SbCl_5 a SbClF_4 , seguint el següent esquema de reaccions.



Com es pot observar a la reacció 7, el fluorur d'hidrogen extreu els àtoms de clor rebuts del CCl_4 i del CCl_3F formant-se com a producte secundari clorur d'hidrogen. La cinètica d'aquestes reaccions es pot considerar instantània amb respecte les reaccions 1 i 2, de manera que tot el catalitzador SbCl_5 introduït al reactor pot considerar-se que està en la seva forma activa SbClF_4 .

La naturalesa d'aquesta reacció requereix que no hi hagi presència d'aigua, ja que es podrien donar reaccions indesitjables, com és la desactivació del catalitzador, així com també la conversió del fluorur i clorur d'hidrogen a àcid fluorhídric i a àcid clorhídric. Això comportaria greus problemes tant de seguretat, corrosió i qualitat del producte final, per la qual cosa cal fer controls de qualitat exhaustius i detectar la presència d'aigua en les matèries primeres així com minimitzar al màxim la possibilitat de fuites o d'infiltracions.

L'objectiu d'aquesta part del procés és obtenir la màxima quantitat de FREÓ-12 possible, ja que és necessari per a la generació de FREÓ-13. Les condicions d'operació han sigut escollides amb l'objectiu de que els reactius entrin en fase líquida al reactor per tal de poder interaccionar amb el catalitzador evitant els problemes de transferència de matèria entre fases present en els reactors bifàsics, a la vegada que entren a una temperatura elevada per afavorir una bona cinètica de reacció, per la qual cosa es necessita operar a pressions altes. El cabal de sortida del reactor, però, es dona en fase gas. Els productes, el CCl_2F_2 i el HCl, passen a fase gas

a mesura que es van formant degut a que les seves temperatures d'ebullició en aquestes condicions són inferiors a la temperatura d'operació. Pel que fa als reactius, el CCl_4 introduït s'exhaureix, ja que la reacció de generació de CCl_3F presenta una cinètica de reacció més alta en comparació amb la reacció consecutiva i la conversió es pot considerar d'aproximadament el 100%. El fluorur d'hidrogen, al igual que el triclorofluorometà, entren en fase líquida i reaccionen juntament amb el CCl_4 , i la conversió d'aquesta reacció es porta fins al 50%, ja que per conversions més altes la concentració de reactiu baixaria, provocant una disminució de la velocitat de reacció i un augment del volum del reactor. La part dels reactius que no reacciona surt del reactor en fase gas, degut a que les condicions d'entrada presenten gairebé el seu punt d'ebullició i a que les seves respectives pressions de vapor promouen la seva difusió a la fase gas.

Pel que fa al catalitzador, en la seva forma original, SbCl_5 , la seva temperatura d'ebullició a 10 atm és de 533.6°C . Degut a que no s'han trobat dades bibliogràficament de la seva forma activada, i a que la temperatura d'ebullició del pentaclorur d'antimoni és molt més elevada que la temperatura d'operació del reactor, es considera que no canvia de fase, de manera que es farà una càrrega en la posada en marxa i no caldrà un cabal constant a l'entrada. A més, ja que la reacció d'activació és gairebé instantània i s'introdueix fluorur d'hidrogen en excés per assegurar que tot el catalitzador es trobi en la forma de SbClF_4 , es suposa que durant el temps en el qual el reactor estigui operant fins a la parada de la planta, aquest no perdrà una activitat considerable.

- **Separació del HCl**

Degut a que el producte generat al primer reactor conté diverses espècies, entre les quals es troben clorur i el fluorur d'hidrogen, així com els freons 11 i 12, s'ha de procedir a la seva separació, ja que la segona part del procés requereix que el reactiu sigui únicament diclorodifluorometà. Partint del fet de que aquestes espècies presenten punts d'ebullició bastant diferents, la millor manera de poder separar-los és mitjançant una destil·lació. En aquest cas és el clorur d'hidrogen el que surt com a destil·lat, mentre que la resta de productes continuen en el procés.

- **Absorció del HCl**

L'àcid clorhídric en absència d'aigua per la seva capacitat de dissociar-se, de manera que com perd les seves característiques àcides, passa a anomenar-se clorur d'hidrogen. Aquesta espècie té un punt d'ebullició molt baix, per la qual cosa es troba en estat gasós a temperatura ambient i a pressió atmosfèrica. L'absorció del clorur d'hidrogen amb aigua s'efectua amb l'objectiu de poder emmagatzemar-lo líquid a condicions atmosfèriques, ja que és un subproducte que es genera al primer reactor i també es pot comercialitzar juntament amb el FREÓ-13. Es rebaixa la seva concentració deixant-lo en un 30% en pes en relació amb l'aigua, ja que es comercialitza en gran quantitat a aquesta concentració.

- **Separació del FREÓ-12**

Com en l'etapa de separació anterior, s'aprofita la diferència de les temperatures d'ebullició entre les espècies presents en el cabal que surt de la primera columna, per tornar a fer una segona destil·lació i aconseguir separar el FREÓ-12 del FREÓ-11 no reaccionat i del fluorur d'hidrogen que entra en excés al primer reactor. El diclorodifluorometà passa a la segona part del procés, mentre que els altres dos productes són recirculats al primer reactor per tal d'incrementar la producció de FREÓ-12.

- **Reacció 2**

El segon pas del procés, un cop s'ha aconseguit separar el freó 12 generat al primer reactor, és convertir aquest en freó 13. La reacció present en aquest cas és la següent



El diclorodifluorometà generat al primer reactor es descompon, en presència d'un catalitzador, en clorotrifluorometà i tetraclorur d'antimoni. El catalitzador que promou aquesta reacció és el clorur d'alumini, un sòlid groguenc i porós.

Cal esmentar, que la formació de freó 13 a partir de freó 11, també és possible en presència d'aquest catalitzador, seguint la següent reacció:



Però, produeix menys mols de clorotrifluorometà i més de tetraclorur de carboni, amb la qual cosa es decideix recircular al primer reactor de nou, per a que produeixi més freó 12.

Degut a que es desconeixen les dades cinètiques d'aquesta reacció, s'ha seguit la patent US2426637, en la qual la reacció es produeix pressió atmosfèrica i a 128°C. Per conèixer l'estat físic de les espècies presents en el reactor només cal veure a continuació les seves temperatures d'ebullició a 1 atmosfera.

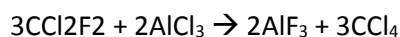
Taula 1.5. Temperatures d'ebullició

Temperatura d'ebullició (°C)	
CCL₂F₂	-29.79
CCLF₃	-81.44
CCL₄	76.75

Tenint en compte que a pressió atmosfèrica, el clorur d'alumini no passa a fase líquida fins a 187.7°C, es donarà una reacció bifàsica, tenint una fase gas que contindrà reactius i productes, i una fase sòlida formada pel catalitzador.

El reactor on té lloc aquesta reacció és un reactor de llit fix multitubular, partint del fet de que necessita un sistema de refrigeració al tractar-se d'una reacció exotèrmica.

La patent proporcionada, disposa de varis exemples d'operació, en els quals opera a diferents temperatures i relacions de cabals. L'exemple escollit ha sigut el primer, el qual estableix unes condicions de 128°C i pressió atmosfèrica, amb una relació de cabal màssic d'entrada entre quantitat de catalitzador al llit igual a 0.35. Aquesta combinació presenta una bona conversió i una disminució de l'activitat petita en comparació amb altres exemples. La conversió d'aquest reactor arriba inicialment fins al 90%, però va disminuint a mesura que passa el temps degut a la pèrdua de catalitzador en pes, formant-se AlF₃ de la següent manera:



L'AlF₃ no catalitza la reacció, per la qual cosa s'ha d'evitar la seva formació el màxim possible donant valors de temperatura i relacions de cabal respecte catalitzador que minimitzin aquest valor al màxim.

En aquesta patent s'observa que al termini de l'experiment, de 439 hores, hi ha present un 0.34% en pes d'AlF₃ en el catalitzador, de manera que la seva desactivació es bastant lenta.

Quantificant la pèrdua d'activitat del catalitzador en el període d'operació, que son 150 dies fins la parada de la planta, la presència d' AlF_3 , serà de gairebé un 3% en pes, comportant una pèrdua de la conversió en la mateixa mesura. Fent la mitjana entre la conversió a l'inici i al final del període d'operació s'obté un valor d'una conversió del 88.5%. Un cop s'efectuï la parada de la planta es procedirà a la renovació del catalitzador per dur a terme el següent procés.

- **Purificació del FREÓ-13**

De la mateixa manera que en la primera part del procés, els components presents en el cabal de sortida del reactor 2 tenen punts d'ebullició molt diferents, fet que propicia que es pugui realitzar una separació en columnes de rectificació. En aquest cas, el FREÓ-13 és el component més volàtil, de manera que s'obté pur com a destil·lat. En aquest cas, a diferència de les altres columnes del procés, interessa que el destil·lat es mantingui en estat líquid, ja que posteriorment serà emmagatzemat en tancs criogènics. La producció anual d'aquest producte és d'aproximadament 10.000 tones, si bé, lleugerament superior, ja que en la realitat es donen desviacions de la idealitat que no es poden preveure quan es fa un disseny teòric.

- **Recuperació del FREÓ-12 i DEL CCl_4**

La composició del cabal de sortida del segon reactor conté clorotrifluorometà, diclorodifluorometà i tetraclorur de carboni, com s'ha esmentat anteriorment. Un cop s'aconsegueix separar el FREÓ-13 de les altres espècies, resta en procés un corrent que conté CCl_2F_2 i CCl_4 . Com les dues espècies són valuoses en diferents etapes del procés, i tenen temperatures d'ebullició molt diferents, es realitza una última destil·lació amb la finalitat de poder emprar aquests dos productes de nou, en unes proporcions de puresa ben elevades. El FREÓ-12, al ser el component més volàtil, surt com a destil·lat, recirculant-se de nou al segon reactor per augmentar la producció de FREÓ-13. Pel que fa al tetraclorur de carboni, es fa recircular fins a la primera part del procés, i més concretament, al primer reactor per augmentar així la producció de Freó 11, i conseqüentment, augmentant la producció de FREÓ-12 i 13.

1.2.4. Propietats dels diferents compostos

1.2.4.1. Matèries primes

- **CCl₄**

El tetraclorur de carboni és un compost químic sintètic, organoclorat, no inflamable que antigament s'utilitzava com extintor, desengreixant, desinfectant genèric, potent plaguicida i en la producció de refrigerants tals com el FREÓ-13. No obstant, donat que quan es degrada forma substàncies químiques perjudicials per la capa d'ozó, el Protocol de Montreal va restringir el seu ús al 1990.

A la figura següent es mostra la fórmula estructural del tetraclorur de carboni:

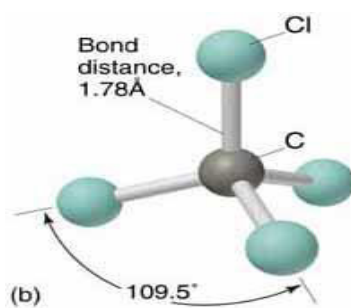


Figura 1.5. Fórmula estructural del CCl₄.

- **HF**

L'àcid fluorhídric és la solució aquosa de fluorur d'hidrogen, compost químic altament perillós. No s'ha de posar en contacte amb elements de vidre donat que pot provocar la corrosió d'aquest, i per això s'ha de manipular sota condicions de temperatura molt baixes utilitzant plàstic.

Aquest compost s'utilitza en química orgànica per tal d'obtenir compostos orgànics fluorats, fluorurs inorgànics o com a catalitzador en la petroquímica. En aquest procés l'HF s'ha emprat per tal d'activar el catalitzador (SbCl₅) i per fluorar el tetraclorur de carboni substituint els carbonis per clors obtenint així FREÓ-11 i FREÓ-12 i finalment FREÓ-13.

L'HF és una substància molt irritant, corrosiva i tòxica. En la pell pot produir ferides de difícil curació, per tant a l'hora de manipular-lo s'han d'aplicar mesures de precaució pertinents per tal de no produir danys. A diferència del tetraclorur de carboni, aquest compost no es perjudicial per la capa d'ozó; no obstant, s'ha de tenir un control de les quantitats que d'HF

que s'alliberen a l'atmosfera donat que és una substància altament fitocida, és a dir, pot impedir el desenvolupament de certes plantes, llavors o espores.

A la figura següent es mostra la fórmula estructural del HF:



Figura 1.6. Fórmula estructural de l'HF

1.2.4.2. Subproductes

- **HCl**

L'àcid clorhídric és un compost químic altament corrosiu i irritant per a qualsevol tipus de teixit. Aquest compost s'utilitza per eliminar residus de carbonat càlcic, en la síntesi de clorurs orgànics, en la regeneració de resines d'intercanvi iònic o en la producció d'additius alimentaris.

L'HCl també es conegut per ser un dels compostos precursor de la pluja àcida, per tant, l'emissió d'aquest compost estarà regulada per la legislació dels diferents països on s'emet. En aquest cas, l'àcid clorhídric es genera a la primera part del procés i es dilueix al 30% en pes per tal de poder comercialitzar-lo. No obstant, tot i estar diluït s'hauran de prendre mesures de seguretat i prevenció adequades a l'hora de manipular-lo ja que és altament corrosiu.

A la figura següent es mostra la fórmula estructural del HCl:

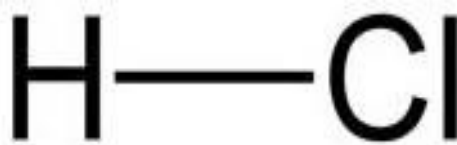


Figura 1.7. Fórmula estructural de l'HCl

- **CCl₃F**

El triclorofluorometà és el primer producte que apareix a la primera reacció del procés com a resultat de la substitució d'un àtom de clor per un de fluor en la molècula de tetraclorur de carboni.

Aquest compost és incolor i bull aproximadament a temperatura ambient. Va ser el primer refrigerant àmpliament utilitzat donat que el seu punt d'ebullició en comparació amb altres refrigerants és molt elevat.

Actualment, el protocol de Montreal té prohibida la seva fabricació des de 1996 donat que té un alt potencial de degradació de la capa d'ozó ja que és una molècula molt estable i a més, pot tenir altres efectes nocius sobre el medi ambient.

A la figura següent es mostra la fórmula estructural del CCl₃F:

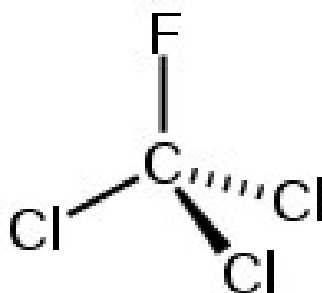


Figura 1.8. Fórmula estructural del CCl₃F

- **CCl₂F₂**

El diclorodifluorometà és el resultat de la substitució d'un àtom de clor per un de fluor en la molècula de FREÓ-11. Aquest compost és la matèria prima d'interès en la segona reacció del procés generant així FREÓ-13.

Aquest compost és un gas incolor i un halometà clorofluorocarboni (CFC) que s'utilitzava com a propulsor de polvorització, com a refrigerant i aerosol. Al 1996 el Protocol de Montreal també va prohibir la seva fabricació així com la de tots els CFC donades les preocupacions sobre l'impacte perjudicial sobre la capa d'ozó.

A la figura següent es mostra la fórmula estructural del CCl₂F₂:

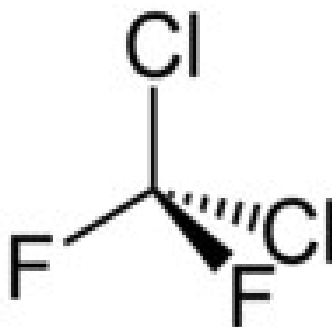


Figura 1.9. Fórmula estructural del FREÓ-12

1.2.4.3. Producte final d'interès: CClF_3

El clorotrifluorometà, R-13, CFC-13 o també conegut com FREÓ-13, és un clorofluorocarboni no inflamable, no corrosiu i també un halometà mixt. El seu ús principal és com a refrigerant, no obstant, degut a les preocupacions donat l'elevat potencial de degradació de la capa d'ozó, el seu ús va ser restringit pel Protocol de Montreal al 1990. Malgrat tot, hi ha casos excepcionals on el seu ús està permès.

El FREÓ-13 juntament amb el FREÓ-11 i el FREÓ-12 són refrigerants sintètics compostats per carboni, fluor i clor, és a dir, són clorofluorocarbons també coneguts com CFC. El ús de tots aquests tipus de refrigerants està restringit per tal de protegir la capa d'ozó estratosfèrica. Així doncs, els CFC s'han anat substituint per refrigerants naturals o altres refrigerants sintètics menys nocius pel medi ambient.

A la taula 1.6. es mostren les propietats més significants d'aquesta substància:

Taula 1.6. Propietat més significants.

PARÀMETRE	VALOR
Pes molecular (g/mol)	104.46
Punt de fusió (P=1 atm) (°C)	-181
Punt d'ebullició (P=1 atm) (°C)	-81.48
Densitat del líquid (P=1 atm al punt d'ebullició) (kg/m ³)	1521.44
Densitat del gas (P=1 atm al punt d'ebullició) (kg/m ³)	6.93
Temperatura crítica (°C)	28.85
Pressió crítica (bar)	38.79

Densitat crítica (kg/m ³)	582.88
Calor latent de vaporització (P=1 atm al punt d'ebullició) (kJ/Kg)	
Factor de compressibilitat (P=1 atm i 15°C)	0.99
Viscositat (P=1 atm i 0°C) (Poise)	$1.32 \cdot 10^{-4}$
Conductivitat tèrmica (P=1 atm i 0°C) (mW/m·K)	10.724

A la figura següent es mostra la fórmula estructural del CClF₃:

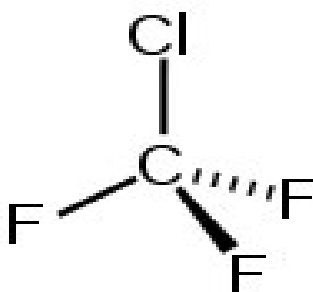


Figura 1.10. Fórmula estructural del FREÓ-13.

1.2.4.4. Altres compostos

- **SbCl₅**

El pentaclorur d'antimoni, el qual s'utilitza com catalitzador en la primera reacció del procés, és una substància altament corrosiva que carbonitza plàstics no fluorats.

- **AlCl₃**

El clorur d'alumini, el qual s'utilitza com a catalitzador en la segona reacció del procés, és un sòlid amfòter, és a dir, pot actuar com un àcid o una base depenent del medi on es trobi.

1.3. Constitució de la planta

Tal i com s'ha esmentat prèviament la superfície de la parcel·la on es construirà la planta CADMA Chemicals consta de 70.095 m². En aquest terreny es construiran des de totes les instal·lacions necessàries per a la producció de FREÓ-13 fins a oficines per als treballadors. Es

important realitzar una bona distribució de les àrees per tal d'estalviar en costos de transport de material per exemple i sobretot per garantir la seguretat dels treballadors de la planta.

1.3.1. Àrees

En aquest apartat s'han distribuït les diferents àrees per tal d'obtenir una reducció dels costos de fabricació i de materials de procés així com per garantir que els treballadors no estiguin exposats a riscos laborals.

A la taula que es mostra a continuació es defineixen les diferents àrees de la planta:

Taula 1.7.. Zones de la planta CADMA chemicals.

ABREVIACIÓ	ZONA
A-100	Àrea d'emmagatzematge de matèries primes
A-200	Àrea de reacció
A-300	Àrea de separació
A-400	Àrea d'acondicionament
A-500	Àrea d'emmagatzematge de producte
A-600	Àrea de tractament de residus
A-700	Àrea de serveis
A-800	Àrea de càrrega i descàrrega
A-900	Àrea de Pàrquing
A-1000	Àrea d'oficines i laboratoris
A-1100	Àrea de control
A-1200	Tallers
A-1300	Menjadors i Vestuaris
A-1400	Ampliacions
A-1500	Infermeria

- **Àrea d'emmagatzematge de matèries primes**

En aquesta àrea s'emmagatzemen les matèries primes necessàries per al procés de producció de FREÓ-13. Hi ha un total de 5 tanc; 3 de fluorur d'hidrogen, 2 de tetraclorur de carboni.

- **Àrea de reacció**

En aquesta zona es troben els equips més importants de la planta donat que es on es du a terme el procés de la transformació de les matèries primes al producte final d'interès. Aquesta es divideix en dues subàrees diferents; en la primera es produeix HCl, FREÓ-11 i FREÓ-12 i en la segona el producte final d'interès FREÓ-13.

- **Àrea de separació**

En aquesta àrea tenen lloc una sèrie d'operacions de separació, a partir de diferents columnes de destil·lació, les quals es basen en primer lloc en anar eliminat els compostos que hi ha junt al FREÓ-12 i finalment en eliminar aquells compostos que hi ha junt al FREÓ-13. Un cop aplicades totes aquestes operacions s'obté FREÓ-13 pur i s'envia a una empresa externa perquè l'envasin i així poder comercialitzar-lo.

- **Àrea d'acondicionament**

En aquesta àrea s'acondiciona el subproducte, és a dir, l'HCl. Per poder comercialitzar-lo s'ha diluït al 30% en pes mitjançant una torre d'absorció.

- **Àrea d'emmagatzematge del producte**

En aquesta àrea s'emmagatzemen el productes i subproductes obtinguts a la planta CADMA chemicals, és a dir, s'emmagatzemen tant el FREÓ-13 com l'àcid clorhídric al 30% en pes.

- **Àrea de tractament de residus**

En aquesta àrea es tractaran o s'emmagatzemaran tots els residus de la planta, ja sigui per el seu propi tractament, per l'empresa externa que vingui a recollir-los o els que vagin a la deixaria municipal.

- **Àrea de serveis**

En aquesta àrea estaran tots els serveis d'oli tèrmic, refrigerant, nitrogen, estació transformadora, grup electrogen i chillers per cobrir tots els requeriments de la planta.

- **Àrea de càrrega i descàrrega**

En aquesta zona estan col·locades les boques de càrrega i descàrrega dels tancs d'emmagatzemat i es on arriben els camions per recollir o descarregar diferents compostos.

- **Àrea de Pàrquing**

Aquesta àrea s'utilitza per tal de que el empleats, comercials i visites tinguin una plaça per tal d'aparcar el seu vehicle. La zona més propera a la planta està reservada per a persones amb mobilitat reduïda.

- **Àrea d'oficines i laboratoris**

En aquesta àrea es duu a terme tota la gestió de la planta així com termes burocràtics i on es realitzen anàlisis de mostres dels productes i subproductes finals per tal de garantir que la planta funciona correctament.

- **Àrea de control**

En aquesta àrea es troba personal les 24 hores del dia, per tal de garantir el bon funcionament de la planta a partir d'observar els diferents paràmetres monitoritzats en tota la planta i fent canvis als set-points de les variables controlades del procés.

- **Tallers**

En aquesta zona s'emmagatzemarà el material necessari per tal de realitzar reparacions de diferents tipus en tota la planta.

- **Menjadors i vestuaris**

Espai social on els diferents treballadors de la planta tindran un lloc per poder dinar i descansar el temps reglamentari de la seva jornada laboral i els vestuaris on cadascun dels diferents treballadors tindrà la seva pròpia taquilla per dipositar pertinències personals.

- **Àrea d'ampliacions**

En aquesta zona es tenen previstes realitzar una sèrie d'ampliacions que permetran poder treballar de manera més eficaç, generant menys residus i utilitzant matèries primes de menys cost.

- **Infermeria**

La planta disposa d'una infermeria per tal de atendre a qualsevol treballador en cas d'accident laboral.

1.3.2. Planificació temporal

En la taula següent es mostra la planificació temporal de la construcció de la planta CADMA chemicals on s'inclouen totes les tasques, les activitats precedents i la duració de cadascuna de elles.

Taula 1.8. Planificació temporal

	TASCA	PRECEDENT	DURACIÓ (mesos)
1	Aconseguir llicència d'obres i activitats	0:1	4
2	Neteja del terreny, excavacions i ciments	1:2	1
3	Instal·lació de suport, plataformes i escales	2:3	1
4	Instal·lació de baranes	3:4	0.25
5	Instal·lació d'equips	3,4:5	3
6	Calibratge d'equips	5:6	1
7	Instal·lació de conduccions prefabricades	6:7	2
8	Instal·lació de canonades del procés	3,4:8	3
9	Connexions canonades-equip	6,8:9	2
10	Instal·lació canonades de servei	3,4:10	3
11	Connexió de canonades de servei	6,10:11	2

	equips		
12	Instal·lació instrumentació	3,4:12	3
13	Connexió instrumentació-equip	6,12:13	2
14	Instal·lació elèctrica	3,4:14	3
15	Connexions elèctriques a equips	6,14:15	1
16	Aïllament d'equips	6:16	1
17	Aïllament canonades	8:17	1
18	Aïllament conductes	7:18	1
19	Proves equips	1-18:19	1
20	Pintura	1-18:20	1
21	Neteja	1-18:21	0.75
22	Posta en marxa	1-21:22	0.75

A la figura següent es mostra el diagrama de Gant de la construcció:

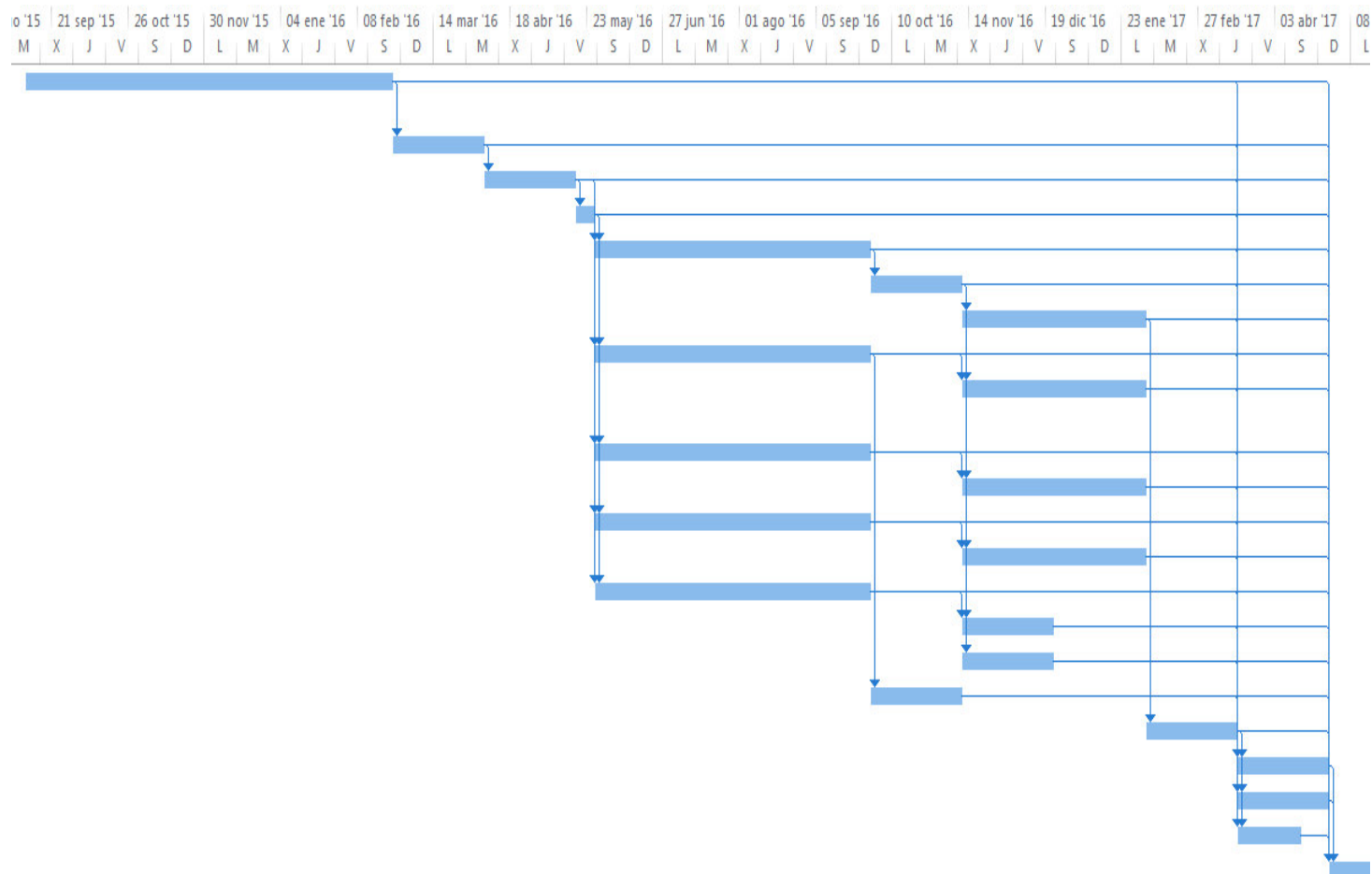


Figura 1.11. Diagrama de Gant.

1.3.3. Plantilla treballadors

La planta de producció CADMA chemicals treballa 300 dies a l'any i 24 hores al dia, el que equival a 7200 hores a l'any. S'ha decidit realitzar dues parades a l'any per tal de realitzar tasques de manteniment dels equips donada l'elevada corrosió que poden provocar algunes de les substàncies amb les que es treballa a la planta. Una de les parades es realitzarà al més de febrer i l'altre al més d'agost donat que com que la planta en general treballa en fred, fer una parada a l'agost suposarà un estalvi en quant eficiència energètica.

A més, per garantir el bon funcionament de la planta es requereix tot una sèrie de professionals i especialistes en diferents àmbits de l'empresa. Entre ells s'inclou directius, personal de laboratori, operaris i obrers, cap de secció, tècnics, personal d'oficines, personal de neteja i seguretat.

- **Directius i tècnics:** Aquest grup de persones s'encarrega de la gestió i direcció de l'empresa i les decisions d'aquest seran les que es duran a terme per la resta del personal.
- **Caps de secció o especialistes:** Conjunt d'enginyers químics, industrials, de procés i altres especialistes encarregats de supervisar totes les seccions de l'empresa per tal de garantir un correcte funcionament de la planta.
- **Operaris i obrers:** En la planta CADMA chemicals treballen un grup d'operaris distribuïts en les diferents àrees de matèries primes, reacció, purificació, emmagatzemat, tractament de residus i càrrega i descarrega. Aquesta plantilla de personal s'encarrega de la correcta operació de la planta i del seu manteniment.
- **Personal laboratori:** Conjunt de tècnics de laboratori que treballaran per tal de garantir l'anàlisi de tot el producte acabat.
- **Personal d'oficina:** Els treballadors d'aquesta plantilla s'encarregaran del marketing, l'administració, la comptabilitat i dels recursos humans de l'empresa.
- **Personal de neteja, seguretat i taller:** Es contractarà personal extern de neteja i seguretat per tal de mantenir les instal·lacions netes i garantir la seguretat a la planta així com personal de taller per fer qualsevol reparació.

1.4. Balanç de matèria

A continuació es mostren les taules corresponents al balanç de matèria general on s'inclouen les dades de cabals màssics, pressió, temperatura i estat físic de cada corrent del procés. La numeració dels diferents corrents fan referència al diagrama de flux. Es important recordar que els dos catalitzadors necessaris per la producció de FREÓ-13 s'introduiran com una càrrega i no en continu.

Taula 1.9. Càrrega dels diferents catalitzadors

COMPOST	CÀRREGA (Kg)
SbCl_5	1857
AlCl_3	7806

Taula 1.10. Balanç de matèria.

	1	2	3	4	5	6
Fracció de vapor	0,00	0,00	1,00	0,42	1,00	0,00
Temperatura (°C)	90,00	-23,73	95,00	25,00	-31,61	74,46
Pressió (Kpa)	1013,25	1013,25	1013,25	1013,25	1013,25	1013,25
Flux molar (Kmol/h)	53,33	13,33	90,00	90,00	40,00	50,00
Flux màssic (Kg/h)	2851,15	1392,93	6824,08	6824,08	1458,36	5365,71
Flux màssic per components (Kg/h)						
HF	800,24	0,00	200,08	200,08	0,00	200,08
CCl₄	2050,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl	0,00	0,00	1458,36	1458,36	1458,36	0,00
FREÓ-11	0,00	0,00	2747,34	2747,34	0,00	2747,34
FREÓ-12	0,00	0,05	2418,30	2418,30	0,00	2418,30
FREÓ-13	0,00	1392,88	0,00	0,00	0,00	0,00
H₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aire						

Taula 1.11. Balanç de matèria.

	7	8	9	10	11
Fracció de vapor	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00
Temperatura (°C)	-0,46	56,95	90,00	-90,00	128,00
Pressió (Kpa)	303,97	303,97	1013,25	101,32	101,32
Flux molar (Kmol/h)	20,00	30,00	30,00	13,33	20,00
Flux màssic (Kg/h)	2418,19	2947,52	2947,51	1392,93	2418,19
Flux màssic per components (Kg/h)					
HF	0,00	200,08	200,06	0,00	0,00
CCl ₄	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-11	0,00	2747,34	2747,38	0,00	0,00
FREÓ-12	2418,19	0,11	0,07	0,05	2418,19
FREÓ-13	0,00	0,00	0,00	1392,88	0,00
H ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aire					

Taula 1.12. Balanç de matèria.

	12	13	14	15	16	17	18	19
Fracció de vapor	1,00	1,00	0,00	0,35	0,00	1,00	0,00	1,00
Temperatura (°C)	128,00	128,00	120,26	20,00	35,00	-0,47	117,79	128,00
Pressió (Kpa)	101,32	101,32	1013,25	1013,25	303,97	303,97	303,97	101,32
Flux molar (Kmol/h)	22,60	22,60	9,26	22,60	9,26	2,60	6,67	2,60
Flux màssic (Kg/h)	2732,42	2732,57	1339,64	2732,57	1339,64	314,19	1025,44	314,19
Flux màssic per components (Kg/h)								
HF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CCl₄	0,00	1025,44	1025,44	1025,44	1025,44	0,00	1025,44	0,00
HCl	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-12	2732,40	314,23	314,17	314,23	314,17	314,17	0,00	314,17
FREÓ-13	0,00	1392,90	0,02	1392,90	0,02	0,02	0,00	0,02
H₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Aire								

Taula 1.13. Balanç de matèria.

	20	1a	2a	3a	4a	5a
Fracció de vapor	0,00	1,00	1,00	0,00	0,00	1,00
Temperatura (°C)	90,00	25,00	-75,33	88,01	25,00	97,03
Pressió (Kpa)	1013,25	101,32	101,32	101,32	101,32	101,32
Flux molar (Kmol/h)	6,67	4,00	44,00	228,90	228,90	41,15
Flux màssic (Kg/h)	1025,45	115,80	1574,16	4861,52	4861,52	786,70
Flux màssic per components (Kg/h)						
HF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CCl₄	1025,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl	0,00	0,00	1458,36	1458,36	1458,36	0,00
FREÓ-11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-12	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
H₂O	0,00	0,00	0,00	0,17	0,17	119,91
Aire		115,80	115,80	3403,00	3403,00	666,80

Taula1.11. Balanç de matèria.

	6a	7a	8a	9a
Fracció de vapor	1,00	0,00	0,00	0,00
Temperatura (°C)	25,00	25,00	25,00	25,00
Pressió (Kpa)	101,32	101,32	101,32	101,32
Flux molar (Kmol/h)	4,12	37,03	189,03	226,06
Flux màssic (Kg/h)	117,98	668,72	3405,34	4074,06
Flux màssic per components (Kg/h)				
HF	0,00	0,00	0,00	0,00
CCl ₄	0,00	0,00	0,00	0,00
HCl	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-11	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-12	0,00	0,00	0,00	0,00
FREÓ-13	0,00	0,00	0,00	0,00
H ₂ O	2,34	664,45	3405,34	4069,79
Aire	115,64	4,27	0,00	4,27

1.5. Especificacions i necessitats de serveis

La planta CADMA chemicals requerirà uns serveis que permetin el seu correcte funcionament, i aquests representen la part majoritària dels costos d'operació de la instal·lació. L'ús dels serveis de la forma més òptima possible reduirà els costos econòmics variables de la planta en major grau.

- **Aigua de xarxa**

L'aigua de xarxa s'usarà en tasques de neteja, als laboratoris, dutxes, jardins, menjadors i oficines i vindrà subministrada per una canonada de 200 mm a una pressió màxima de servei de 4 kg/cm². Aquest servei d'aigua s'usarà també per les mesures contra incendis, pel que s'haurà de disposar d'una mínima pressió per garantir la seguretat de la planta.

- **Aigua per incendis**

Aquesta aigua alimentarà les boques d'incendi equipades (BIE), hidrants i ruixadors automàtics descrits al capítol 5 de seguretat. També es disposarà d'una bassa contra incendis amb unes dimensions de 11.75 metres de radi i una profunditat de 10 metres, i d'un sistema de bombeig d'aigua a través de la xarxa contra incendis.

- **Aigua descalcificada (DC-701)**

En la formulació d'àcid clorhídric a la columna d'absorció CA-401 i el bescanviador B-401 es necessitarà aigua descalcificada, que eviti problemes futurs d'incrustacions o contaminacions d'equips i canonades. Tanmateix, l'ús d'aigua descalcificada disminueix la corrosió ocasionada a la columna ja que l'aigua de xarxa és més corrosiva. Eliminant la duresa de l'aigua s'allarga la vida útil dels equips.

La descalcificació és el procés més emprat per eliminar la duresa de l'aigua degut a què resulta econòmic i fàcil de realitzar, amb un rendiment excel·lent. El principi en el qual es basa la descalcificació és el bescanvi catiònic.

Els descalcificadors es componen d'una ampolla que conté la reïna de bescanvi catiònic, un dipòsit on s'emmagatzema la sal i un conjunt de vàlvules que gestionen l'entrada i la sortida d'aigua i sal.

L'aigua que entra al descalcificador circula a través de les partícules de la reïna que és un producte sintètic en forma d'esferes que inicialment es troben saturades de cations de Sodi (Na⁺).

El bescanvi iònic es dona degut a la gran afinitat de la reïna pel Calci (Ca^{2+}) i Magnesi (Mg^{2+}) presents a l'aigua, de manera que la reïna allibera els ions de Sodi per retenir aquests últims. A la figura següent mostra el funcionament del bescanvi iònic per la descalcificació de l'aigua amb l'exemple del Calci (aplicable de forma equivalent al Magnesi), deixant en solució els ions Sodi reduint la duresa de l'aigua.

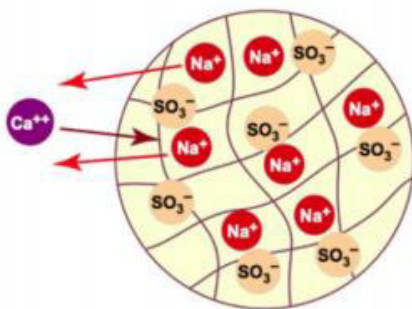


Figura 1.12. Funcionament del bescanvi iònic per la descalcificació de l'aigua.

D'altra banda, la reïna no podrà bescanviar ions infinitament, ja que arribarà un punt en que es saturarà degut a l'absència de més ions Sodi per bescanviar amb el medi aquós. La regeneració de la reïna es fa amb una salmorra de clorur de sodi que allibera els cations Calci i Magnesi, retornant els ions sodi. Inclosa en la regeneració hi ha un rentat, la posterior aspiració de la salmorra, un rentat lent seguit d'un rentat ràpid i l'ompliment del dipòsit de sal.

Es disposarà de sistemes de control als equips que permetin conèixer el moment exacte en el qual s'ha de fer la regeneració de la reïna. Aquests sistemes de control correspondran a:

- Cronòmetre: mesura els temps recorregut des de la última regeneració per calcular quan serà necessària la pròxima regeneració.
- Control volumètric: mesura el volum total que és capaç de tractar l'equip i la programació d'aquest per la regeneració, quan es prevegi que no es disposa de suficient capacitat per tractar l'aigua al dia següent.

Com que es necessitarà $4.08 \text{ m}^3/\text{h}$ d'aigua descalcificada a la columna CA-401 i al bescanviador B-401, es requereix un descalcificador que com a mínim proporcioni aquest cabal per la producció d'àcid clorhídric. S'escull el descalcificador Magnum 762-125L, model MG74, de l'empresa *Aguas del Mare Nostrum S.L.* amb les següents especificacions:

- Connexió de 2 polzades.
- Cicles de regeneració ajustables.
- Pressió de treball de 2.5 a 6 bars.
- Temperatura màxima de servei de 40 °C.
- Descalcificador volumètric amb regeneració retardada o instantània.
- Inclou turbina pel control del volum d'aigua tractada.



Figura 1.13. Descalcificador Magnum 762-125L

A la figura següent es mostra les dimensions del sistema de descalcificació del qual es compona l'equip descrit.

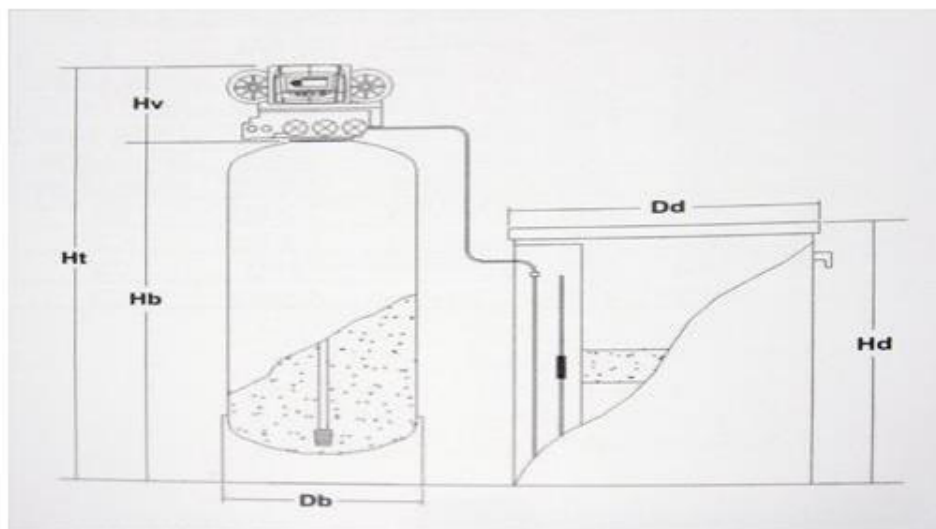


Figura 1.14. Dimensions del sistema de descalcificació.

La imatge mostra els valors de les dimensions recollides a la figura 1.14.

DIMENSIONES (mm)					
Db	Hb	Hv	Ht	Db	Hd
413	1671	272	1943	610	1140

Figura 1.15. Valors de les dimensions recollides.

- Torres de refrigeració (TR-701, TR-702, TR-703, TR-704, TR-705)**

Es requereixen torres de refrigeració per refredar els fluids tèrmics que provenen de les diferents àrees de la planta i sobretot dels diferents bescanviadors de calor. El principi bàsic de funcionament es basa en posar en contacte l'oli tèrmic amb una corrent d'aire sec que provoca la seva vaporització i amb això refredar l'oli.

A la taula 1.15. es mostren les necessitats de les torres de refrigeració pels bescanviadors.

Taula 1.15. Necessitat de les torres de refrigeració pels bescanviadors.

Ítem	Tipus de Bescanviador	Temperatura fluid tèrmic (°C)		Cabal oli	Temperatura fluid procés (°C)		Calor Bescanviar kW
		Entrada	Sortida		Entrada	Sortida	
B-206a	Carcassa i tubs	60	100	4657	274	174	46
B-206b	Carcassa i tubs	30	60	4657	174	94	68
B-208	Carcassa i tubs	90	115	400	118	95	5.7
B-401	Carcassa i tubs	24	40	10852	97	25	100

Taula 1.16. necessitats de les torres de refrigeració pel reactor.

Ítem	Entrada	Sortida	Cabal oli	Calor Bescanviar kW
R-202	105	120	10387	98.44

S'han escollit les torres de refrigeració de l'empresa EWK i s'ha determinat que es requereixen un total de 5 torres de refrigeració a la planta del tipus EWK-C 441/6 per satisfer totes les necessitats de la planta. Aquest model és resistent a la corrosió, de baix consum i de fàcil manteniment.

La figura 1.16. presenta les dimensions de les torres de refrigeració, la qual té una potència frigorífica de 401 kW, superior als requeriments i per tant si s'ha de fer alguna millora es podria dur a terme.

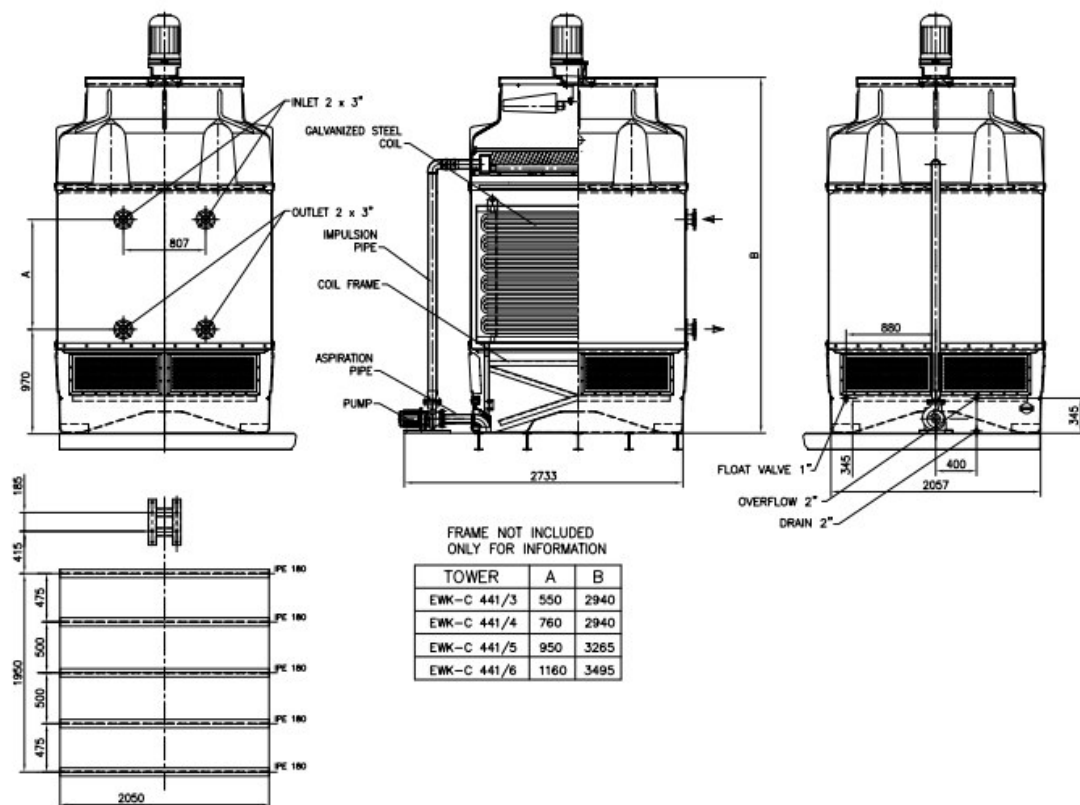


Figura 1.16. Dimensions de les torres de refrigeració.

Taula 1.17. Dimensions de la torre de refrigeració EWK-C 441/6.

Pes buit (kg)	2850
Pes servici (kg)	5010
Llarg (mm)	2140
Ample (mm)	2140
Alt (mm)	3540

- **Grup de fred (CH-701, CH-702, CH-703, CH-704, CH-705)**

Un grup de fred o amb la denominació anglesa “Chiller”, correspon a una màquina frigorífica encarregada de transformar energia mecànica en energia tèrmica, per obtenir i mantenir un recinte a una temperatura menor a la temperatura exterior. Aquesta energia mecànica sol provenir prèviament d’altres tipus de fonts energètiques com pot ser l’energia elèctrica, mitjançant un motor elèctric.

La transferència de calor es realitza per mitjà d’un fluid refrigerant, el qual pateix diversos canvis de pressió, temperatura i estat físic als diferents punts del circuit que compon la màquina. El fluid refrigerant es posa en contacte tèrmic amb el recinte per absorbir la calor en alguns punts, o bé transferir-lo a d’altres.

Un grup de fred o “Chiller” es compon dels següents elements principalment:

1. Compressor: subministra energia al sistema. El fluid refrigerant arriba en estat gasós al compressor i augmenta la seva pressió.
2. Condensador: el condensador és un bescanviador de calor en el qual es dissipa la calor absorbida a l’evaporador i l’energia del compressor. Al condensador el refrigerant canvia de fase passant de gas a líquid.
3. Sistema d’expansió: el refrigerant líquid entra a la cambra d’expansió on redueix la seva pressió, al reduir la seva pressió, la temperatura també es redueix de forma sobtada.
4. Evaporador: el refrigerant a baixa temperatura i pressió circula per l’evaporador (de nou un bescanviador de calor), absorbint la calor del recinte on es troba situat. El refrigerant líquid que entra a l’evaporador es transforma en gas al absorbir la calor del recinte.

Tant a l’evaporador com al condensador la transferència energètica es realitza principalment per calor latent. A grans trets, els passos seguits al circuit d’un grup de fred són els següents:

- L’evaporador absorbeix la calor del recinte que es vol refredar.
- El compressor augmenta la pressió del refrigerant per facilitar la condensació posterior i possibilitar així, la circulació del fluid.
- La vàlvula d’expansió redueix la pressió provocant el refredament del fluid refrigerant.

Aquest circuit es repeteix en bucle formant un cicle tancat de refrigeració.

La taula 1.18. mostra les necessitats de refrigeració mitjançant una combinació de “Chillers”, resultat de la suma dels requeriments de tots aquells bescanviadors que hagin de refredar a temperatures inferiors a les d l’ambient (25 °C).

Taula 1.18. Necessitats de fred dels bescanviadors al procés de producció de FREON-13.

Ítem	Tipus de bescanviador	Temperatura fluid tèrmic (°C)		Cabal de refrigerant (kg/h)	Temperatura fluid procés (°C)		Calor bescanviat (kW)
		Entrada	Sortida		Entrada	Sortida	
B-206c	Carcassa i tubs	15	30	4567	94	20	79
B-203	Carcassa i tubs	16	30	14253	95	25	91
B-307	Carcassa i tubs	30	36	12253	78	35	36.4
B-303	Carcassa i tubs	-50	-40	31506	-0.34	-1	186.5
B-308	Carcassa i tubs	-50	-40	4954	-0.47	-0.82	20.6
B-301	Carcassa i tubs	-50	-40	34189	-31.61	-31.98	207.6
B-305	Carcassa i tubs	-50	-40	24266	-23	-25	155.3
B-402	Carcassa i tubs	-50	40	221291	88	25	964.9
B-310	Carcassa i tubs	-100	-90	4449	-82	-90	24.0

S’escull un grup de fred refrigerant proporcionat per l’empresa *Reynold India Private Limited*, compostat de les següents característiques CH-705:

- Rang de temperatura d’operació de +30°C a -40°C.
- Rang de potència frigorífica de 60 kW a 3200 kW.

I de la empresa LAUDA s’escullen 3 grups de fred més:

Pel cas del chiller CH-701:

- Rang de temperatura d’operació de 150 a -100°C.

- Rang de potència frigorífica de més de 60 kW.

Pel cas dels chillers els quals seran dos en sèrie CH-702 i CH-703:

- Rang de temperatura d'operació de 150 a -100°C.
- Rang de potència frigorífica de més de 120 kW.

Pel cas del chiller CH-704:

- Rang de temperatura d'operació de 50 a -100°C.
- Rang de potència frigorífica de més de 120 kW.

En tots els cassos la potència màxima que pot subministrar el "chiller" ha de ser superior a la requerida, i en tots els cassos tenen un marge suficient per possibles ampliacions o millores del procés en un futur.

La figura 1.17 mostra un dels equips de fred de l'empresa LAUDA:



Figura 1.17. Grup de fred.

- **Calderes d'oli tèrmic (CO-501, CO-502 i CO-503)**

Al procés de producció de FREÓ-13 es troben diversos punts on es requereixen temperatures dels fluids molt elevades, on l'ús d'una caldera de vapor resultaria insuficient per subministrar tota la calor necessària, ja que això implicaria proporcionar vapor d'aigua a molt alta pressió.

Associada a aquesta pressió, els costos d'operació serien considerablement majors. La caldera de fluid tèrmic pel qual circula un oli tèrmic amb elevada transferència de calor, permet reduir notòriament els costos d'operació per la producció de FREÓ-13. A més, també s'opta per no utilitzar vapor degut a les reaccions secundàries i fortament perjudicials que poden esdevenir al posar en contacte els àcids amb aigua en cas de fugues.

Les taules 1.19., 1.20. i 1.21. mostren els requeriments de calor necessaris als bescanviadors i al reactor al llarg del procés de producció, pels diferents salts tèrmics establerts per l'oli tèrmic Dowtherm J, mentre que la taula 1.22. mostra els requeriments totals de calor amb la suma de tots els equips.

Taula 1.19. Necessitats de calor dels bescanviadors d'oli tèrmic que entra a 130°C.

Ítem	Tipus de Bescanviador	Temperatures fluid tèrmic (°C)		Cabal oli (kg/h)	Temperatures fluid procés (°C)		Calor Bescanviar (kW)
		Entrada	Sortida		Entrada	Sortida	
B-204a	Carcassa i tubs	120	115	6876	-29	23	20.3
B-204b	Carcassa i tubs	125	120	6876	23	75	21.9
B-204c	Carcassa i tubs	130	125	6876	75	128	23.8
B-207a	Carcassa i tubs	120	115	2548	-29	30	3
B-207b	Carcassa i tubs	125	120	2548	30	90	6.3
B-207c	Carcassa i tubs	130	125	2548	90	128	2.2

Taula 1.20. Necessitats de calor dels bescanviadors d'oli tèrmic que entra a 150°C.

Ítem	Tipus de Bescanviador	Temperatures fluid tèrmic (°C)		Cabal oli (kg/h)	Temperatures fluid procés (°C)		Calor Bescanviar kW
		Entrada	Sortida		Entrada	Sortida	
B-201	Carcassa i tubs	150	100	12088	25	95	346.3
B-202	Carcassa i tubs	150	140	5739	25	95	33
B-205	Carcassa i tubs	140	120	5739	58	95	39.2
B-302	Kettle Reboiler	150	130	19678	65	75	203.6

B-304	Kettle Reboiler	150	130	10454	56.5	57	116.3
B-306	Kettle Reboiler	130	120	19678	71	120	113.6
B-309	Kettle Reboiler	130	120	10454	116	118	51

Taula 1.21. Necessitat del reactor d'oli tèrmic que entra a 180 °C.

Temperatures fluid tèrmic (°C)				
Ítem	Entrada	Sortida	Cabal oli (kg/h)	Calor Bescanviar kW
R-201	180	150	13890	267.96

Taula 1.22. Necessitats de potència calorífica requerida en tot el sistema.

	Temperatura d'entrada de l'oli tèrmic a l'equip (°C)	Consum (kg/h)	Potència (kW)
Dowtherm J	130	9424	77.5
Dowtherm J	150	47959	903
Dowtherm J	180	13890	297.96

S'escull dues calderes de fluid tèrmic proporcionada per l'empresa PIROBLOC, amb les següents especificacions tècniques:

- Temperatura de servei fins a 350 °C.
- Potència calorífica de 870 kW.
- Pressió màxima de servei fins a 10 bars.
- Numero de serpentins: 2.
- Passos efectius de fums: 3.
- Rendiment tèrmic: 87-91%

S'escull una caldera de fluid tèrmic proporcionada per l'empresa PIROBLOC, amb les següents especificacions tècniques:

- Temperatura de servei fins a 350 °C.
- Potència calorífica de 1860 kW.

- Pressió màxima de servei fins a 10 bars.
- Numero de serpentins: 2.
- Passos efectius de fums: 3.
- Rendiment tèrmic: 87-91%

La figura 1.18. mostra un esquema de les parts que componen les calderes, mentre que la figura 1.19. mostra una imatge de la caldera real.

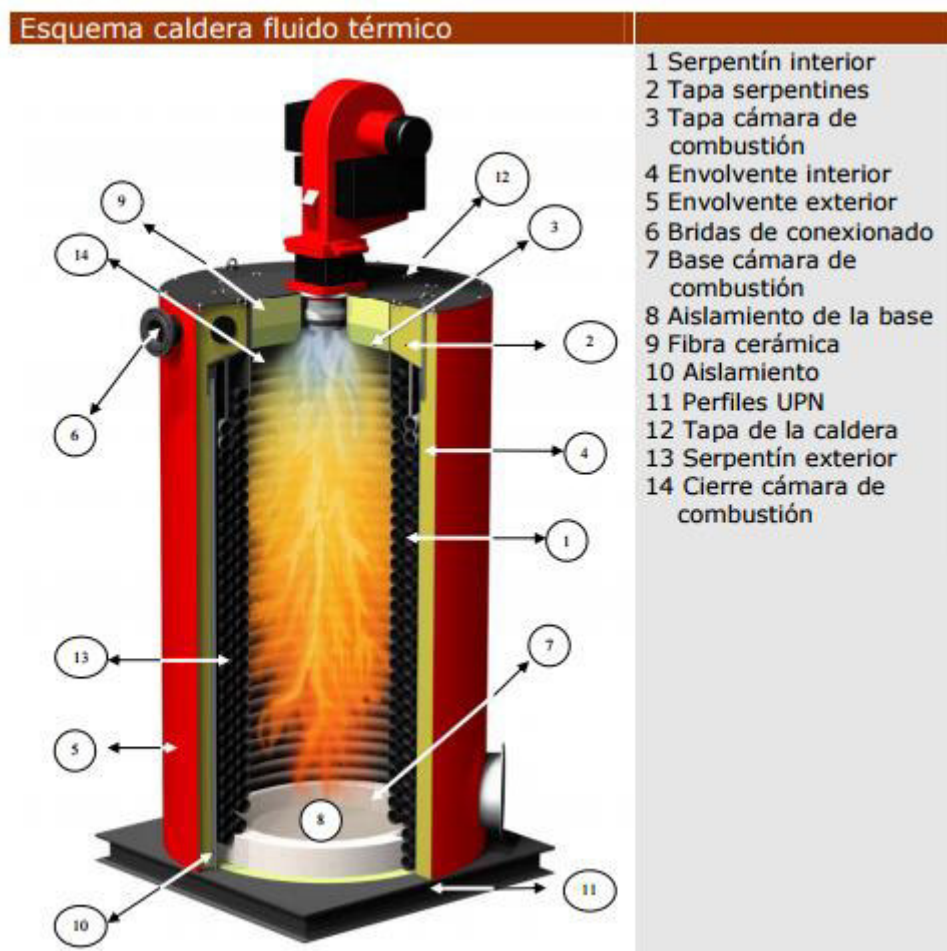
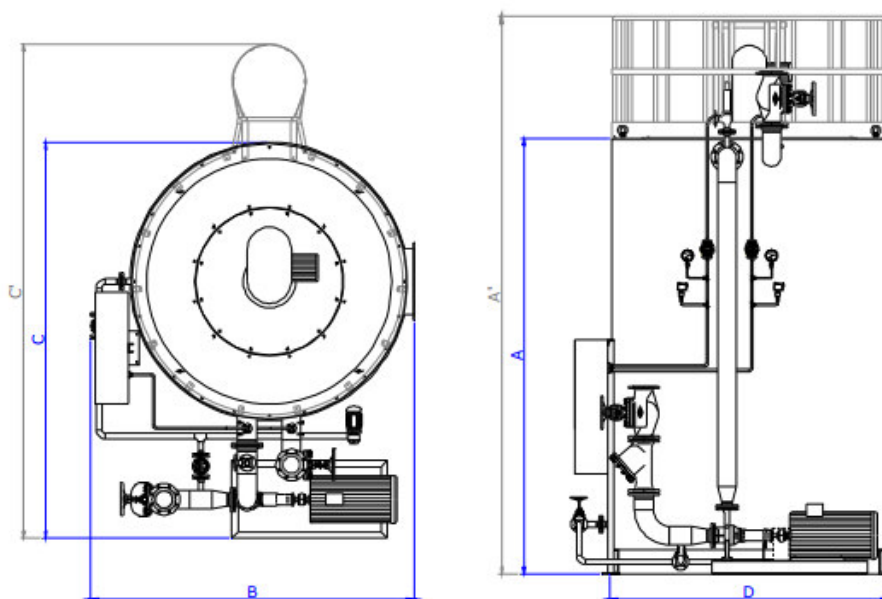


Figura 1.18. Esquema de les parts que componen la caldera



Figura 1.19. Caldera d'oli tèrmic de l'empresa PIROBLOC.

Els models escollits corresponen a GFT-060/60 i GFT-130/50, i es duplicarà la caldera GFT-060 per a que a cadascuna treballi amb el salt tèrmic especificat als bescanviadors i reactors. Finalment, la figura 1.18 mostra les dimensions del model d les calderes escollides en mil·límetres.



MODELO	A	B	C	D	A'	C'
GFT-010/20	1500	1525	1585	954	--	--
GFT-020/20	1680	1580	1750	1100	--	--
GFT-040/15	2200	1805	2020	1292	--	--
GFT-040/20	2200	1855	2000	1292	--	--
GFT-060/20	2625	2000	2350	1522	3720	3220
GFT-090/20	3170	2170	2525	1730	4275	3390
GFT-090/40	3170	2075	2525	1730	4275	3390
GFT-130/20	3180	2400	2865	1997	4280	3730
GFT-130/40	3180	2400	2780	1997	4280	3645
GFT-170/20	3875	2700	3160	2200	4980	4030
GFT-170/40	3875	2700	3160	2200	4980	4030
GFT-200/40	4020	2880	3270	2387	5125	4130
GFT-300/40	4715	3130	3515	2554	5820	4375

(mm)

Figura 1.20. Dimensions de la caldera d'oli tèrmic

De nou, es prenen tres calderes capaces de proporcionar una potència calorífica superior als requeriments de la suma de tots els bescanviadors, tant per poder realitzar la operació amb suficient capacitat, com per poder aplicar ampliacions o millores del procés en un futur, sense haver d'afegir més equips de servei.

- **Gas natural**

El gas natural és una font d'energia fòssil formada per una mescla d'hidrocarburs, el qual es pot consumir directament sense necessitat d'aplicar algun tipus de transformació. És el combustible fòssil que proporciona energia de la forma més neta possible, amb el menor nombre d'emissions atmosfèriques i/o residus. D'altra banda, degut a la gran variabilitat de la seva composició, proporciona un poder calorífic molt variable.

El principal component del gas natural és el metà, aproximadament un 90% de la seva composició, mentre que el 10% restant està format per età, butà, pentà, anhídrid carbònic i nitrogen. La planta CADMA chemicals disposa d'una connexió de gas natural a peu de parcel·la amb una pressió de subministrament de 1,5 kg/cm² (pressió mitja). S'emprarà gas natural per escalfar l'oli tèrmic fins la temperatura estipulada: 130 i 150°C respectivament. L'equació 1.1 mostra el càlcul del consum de gas natural segons la potència nominal requerida als bescanviadors en kcal/h.

$$C = \frac{Q}{\eta \cdot PCI_{gas}} \quad [Eq. 1.1]$$

On les diverses variables representen:

- C = consum de gas natural (m³/h)
- Q = potència nominal (kcal/h)
- η = rendiment tèrmic (90%)
- PCI_{gas} = poder calorífic interior (10000 kcal/m³)

Amb els requeriments energètics dels bescanviadors escalfats amb oli tèrmic recollits a la taula **x**, es calcula el cabal de gas natural substituint termes a l'equació anterior:

$$C \left[\frac{m^3}{h} \right] = \frac{1073431}{0.9 \cdot 10000} = 119.3 \text{ m}^3/h$$

Per tant, es necessiten 119.3 m³/h de gas natural, però es decideix sobredimensionar aquest resultat un 15% per garantir que la combustió sigui completa i s'assoleixi les temperatures fixades per l'oli tèrmic. En resum, s'haurà de demanar 137.2 m³/h.

- **Nitrogen**

El servei de nitrogen és imprescindible per inertitzar els tancs d'emmagatzematge i els equips, essent d'ús obligatori a totes les àrees. Els productes que presenten majors necessitats d'inertització amb nitrogen són el fluorur d'hidrogen i l'àcid clorhídric, ja que en el cas de que el fluorur d'hidrogen es tornes àcid i el mateix clorhídric resulten molt inestables i poden esdevenir en reaccions descontrolades, ocasionant un perill intrínsec per a la salut i la seguretat dels treballadors, de la planta i del medi dels voltants.

La inertització consisteix en introduir un volum suficient de nitrogen que sigui capaç de retirar tot l'aire present als equips i tancs. Gràcies a la seva gran estabilitat química, el Nitrogen és extremadament inert, no combustible ni comburent i no genera problemes medi ambientals, fet que el fa fàcilment manipulable degut a la seva baixa densitat. Degut a l'extrema complexitat que implica la quantificació del nitrogen necessari per la posta en marxa de la planta en l'ús d'aquest per la inertització d'equips i instruments, s'assumirà que es necessita el volum total dels equips principals per la posta en marxa. Com que es produiran pèrdues de nitrogen constantment als equips i tancs d'emmagatzematge, es calcula la reposició del nitrogen necessària per mantenir una inertització constant durant la operació de la planta. S'estima que la mínima reposició necessària serà d'un 1% del volum de cada equip a realitzar cada dia per mantenir l'atmosfera inert als equips. La taula 1.23 mostra la quantitat de nitrogen necessari a reposar per cada equip (tanc d'emmagatzematge, reactors, dipòsits pulmó, dipòsits de mescla, columnes de destil·lació i columnes d'absorció) i el total d'aquests. Només es tindrà en compte els equips més importants per fer una estimació general del nitrogen a reposar, pel que es decideix sobredimensionar el valor final de la suma en un 15%, per garantir les necessitats de nitrogen a tota la planta.

Taula 1.23. Quantitat de nitrogen necessari a reposar per cada equip

Ítem	Equip	Volum equip (m3)	Volum N2 (m3)
TE-101	Tanc d'emmagatzematge d'àcid fluorhídric anhidrid	150	0.150
TE-102	Tanc d'emmagatzematge d'àcid fluorhídric anhidrid	150	0.150
TE-103	Tanc d'emmagatzematge d'àcid fluorhídric anhidrid	150	0.150
TE-104	Tanc d'emmagatzematge de tetraclorur de carboni anhidrid	350	0.350
TE-105	Tanc d'emmagatzematge de tetraclorur de carboni anhidrid	350	0.350
TE-501	Tanc d'emmagatzematge de FREÓ-13	305	0.305
TE-502	Tanc d'emmagatzematge de FREÓ-13	305	0.305
TE-503	Tanc d'emmagatzematge d'àcid clorhídric	575	0.575
TE-504	Tanc d'emmagatzematge d'àcid clorhídric	575	0.575
TE-505	Tanc d'emmagatzematge d'àcid clorhídric	575	0.575
TE-506	Tanc d'emmagatzematge d'àcid clorhídric	575	0.575
B-201	Bescanviador carcassa i tubs	3.30	0.003
B-202	Bescanviador carcassa i tubs	1.39	0.001
B-203	Bescanviador carcassa i tubs	5.23	0.005
B-204a	Bescanviador carcassa i tubs	0.61	0.001
B-204b	Bescanviador carcassa i tubs	1.73	0.002
B-204c	Bescanviador carcassa i tubs	3.96	0.004
B-205	Bescanviador carcassa i tubs	1.48	0.001
B-206a	Bescanviador carcassa i tubs	0.77	0.001
B-206b	Bescanviador carcassa i tubs	1.30	0.001
B-206c	Bescanviador carcassa i tubs	6.42	0.006
B-207a	Bescanviador carcassa i tubs	0.64	0.001
B-207b	Bescanviador carcassa i tubs	1.15	0.001
B-207c	Bescanviador carcassa i tubs	0.84	0.001
B-208	Bescanviador carcassa i tubs	1.85	0.002
B-301	Bescanviador carcassa i tubs	4.66	0.005
B-302	Kettle Reboiler	3.97	0.004
B-303	Bescanviador carcassa i tubs	5.59	0.006
B-304	Kettle Reboiler	1.31	0.001
B-305	Bescanviador carcassa i tubs	7.89	0.008
B-306	Kettle Reboiler	9.58	0.010
B-307	Bescanviador carcassa i tubs	2.41	0.002
B-308	Bescanviador carcassa i tubs	1.99	0.002
B-309	Kettle Reboiler	5.16	0.005
B-310	Bescanviador carcassa i tubs	1.58	0.002

B-401	Bescanviador carcassa i tubs	4.00	0.004
B-402	Bescanviador carcassa i tubs	3.44	0.003
R-201	Reactor	15.20	0.015
R-202	Reactor	17.27	0.017
CD-301	Columna de destil·lació	9.65	0.010
CD-302	Columna de destil·lació	9.23	0.009
CD-303	Columna de destil·lació	4.26	0.004
CD-304	Columna de destil·lació	1.33	0.001
TP-201	Tanc pulmó	1.28	0.001
TP-301	Tanc pulmó	0.74	0.001
TP-302	Tanc pulmó	1.28	0.001
TP-303	Tanc pulmó	1.14	0.001
TP-304	Tanc pulmó	1.73	0.002
TP-305	Tanc pulmó	1.14	0.001
TP-306	Tanc pulmó	1.28	0.001
		Total+15%	5
		Total operació	1452

Per tant, s'haurà d'emmagatzemar 1452 m³ de nitrogen gas per les constants reposicions. Per la posada en marxa es requereix un volum de nitrogen igual al volum de tots els equips essencials, que serà de 5049 m³, i per la parada es requereix la mateixa quantitat.

D'altra banda, però, el nitrogen es sol emmagatzemar líquid per ocupar menys espai a la planta, i per no haver d'estar constantment comprant quantitats petites, fet que implicaria complicacions tant pràctiques com econòmiques per aquest servei. Es calcula doncs, el volum de nitrogen líquid necessari, emprant les equacions 1.2 i 1.3.

$$m_{\text{Nitrogen}} = \rho_{\text{gas}} \cdot V_{\text{gas}} \quad [\text{Eq 1.2}]$$

$$V_{\text{líquid}} = \frac{m_{\text{Nitrogen}}}{\rho_{\text{líquid}}} \quad [\text{Eq 1.3}]$$

La taula 1.24. recull els resultats de volum de nitrogen a emmagatzemar en la planta de producció de FREÓ-13:

Taula 1.24. Necessitats de volum de nitrogen líquid.

Volum gas (m³)	1452
Densitat gas (kg/m³)	1.25
Densitat líquid (kg/m³)	598
Quantitat de N₂ (kg)	1815
Volum N₂ líquid (m³)	3.034
Volum N₂ líquid (L)	3034

S'opta per demanar el subministrament de nitrogen líquid a l'empresa Praxair que disposa de tancs de 2000 litres de capacitat. Els tancs de nitrogen estaran formats per dos recipients amb l'interior fet d'acer inoxidable austenític i l'exterior fet d'acer al carboni. L'espai entre ambdós materials estarà farcit de perlita, mantenint les condicions de sobrepressió i proporcionant un aïllament quasi perfecte.

Així doncs, es requeriran 2 tancs de 2000 litres de capacitat (1945 litres de capacitat neta), per poder fer front als requeriments de nitrogen de la planta en qualsevol moment. La taula 1.25. mostra les especificacions tècniques dels tancs de nitrogen, mentre que la figura 1.21. mostra un esquema de la vaporització i posta en servei del nitrogen a planta.

Taula 1.25. Especificacions tècniques del tanc de nitrogen.

Model	2000VHP
Capacitat bruta (L)	2042
Capacitat neta (L)	1945
Pressió màxima de treball (bar)	34.5
Cabal màxim de gas (L/min)	944
Diàmetre (m)	1.22
Alçada (m)	2.97
Pes buit (kg)	1340
Especificacions de disseny	ASME

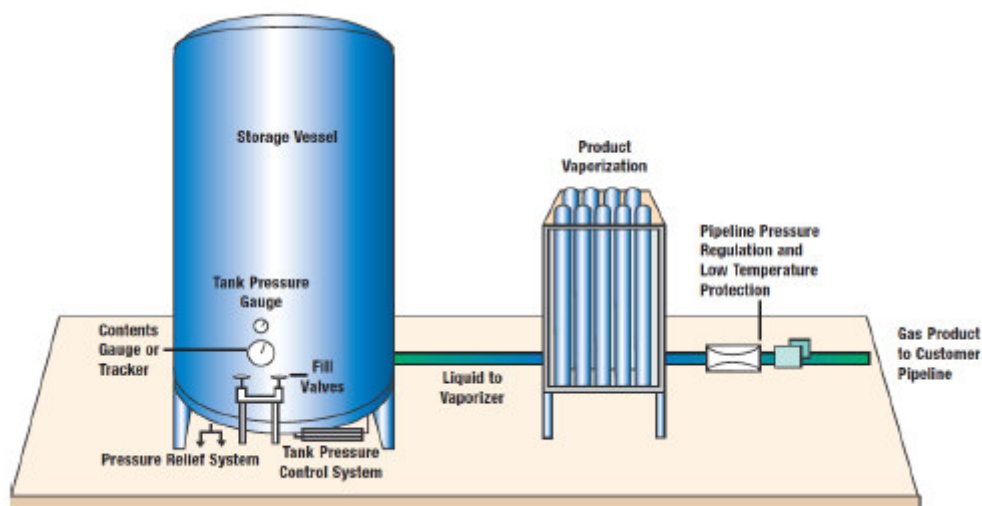


Figura 1.21. Esquema de la vaporització i servei a planta de nitrogen.

- **Aire comprimit**

El servei d'aire comprimit permetrà l'accionament de les vàlvules neumàtiques de control. La pressió mínima per a què es doni l'actuació de les vàlvules és de 6 bars, pel qual s'opta per proporcionar un compressor a 8 bars i fer les degudes reduccions de pressió més tard a la planta.

Un compressor és un equip encarregat de pujar la pressió d'un gas, una mescla de gasos o un vapor. Això s'aconsegueix mitjançant la reducció del volum específic en funció de diversos principis de funcionament que donen varis tipus de compressors.

S'escull un compressor de cargol rotatori que funciona per desplaçament positiu. El seu funcionament consta de dos rotors de perfils conjugats (mascle i femella) amb les següents parts:

- Perfil mascle: 4 lòbuls
- Perfil femella: 6 alvèols.

El funcionament del compressor es compon de 3 fases:

1. Aspiració: el fluid entra a través de l'entrada d'aspiració omplint l'espai entre els lòbuls, alvèols i carcassa. Aquest espai augmenta de forma progressiva durant la

- rotació a mesura que el engranatge dels rotors s'aproxima al costat de la descàrrega o impulsió. La fase d'aspiració finalitza quan el gas ocupa tota la longitud del rotor.
2. Compensió: la pressió del gas augmenta i el volum disminueix degut al engranatge final.
 3. Descàrrega: el fluid es descarrega contínuament fins que l'espai entre els lòbuls dels rotors desapareix.

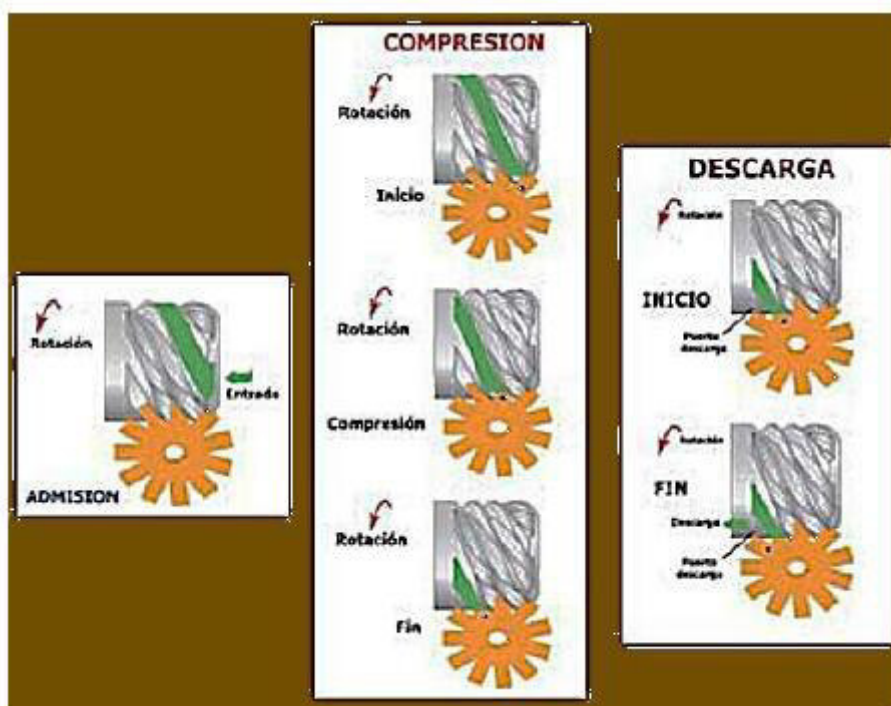


Figura 1.22. Esquema de les etapes de funcionament del compressor i parts que el componen.

S'escull un compressor amb flux d'oli degut a que permet incrementar la capacitat de relació de pressions i no requereix una jaqueta al voltant de la carcassa, reduint els nivells de soroll i l'ús de silenciadors. El moviment als compressors amb flux d'oli es transmet per contacte directe amb els rotors lubricats i així es descarten els engranatges sincronitzadors.

El compressor es compra a l'empresa *Atlas Copco*, el model GA30+-90 / GA 37-90 VSD amb injecció d'oli, 30-90 kW / 40-125 CV. El sistema VSD permet disposar d'un accionament de velocitat variable, fet que redueix els costos d'energia en un 35% addicional, amb un ampli rang d'ampliació. La figura 1.23. mostra una imatge del compressor escollit, la informació detallada de les especificacions tècniques d'aquest es troben al full d'especificacions del capítol 2 corresponent.



Figura 1.23. Compressor model GA30+90/GA 37-90 VSD de l'empresa Atlas Copco.

- **Electricitat**

El corrent elèctric constitueix una necessitat bàsica pel funcionament dels motors, oficines, sales de control, il·luminació, etc. La línia elèctrica a la planta és de 20 kV (mitja tensió) a peu de parcel·la amb una estació transformadora que redueix aquesta tensió fins a 380 o 220V, ja que els equips i aparells elèctrics requereixen una tensió molt més baixa per no espatllar-se. Les línies de corrent elèctric estaran fetes de coure recobertes de PVC, el qual servirà com aïllament. A les zones classificades els cables hauran d'estar recoberts amb una protecció especial que aguantí les condicions de perillositat especificades per aquella zona. La línia elèctrica serà trifàsica (tres fases, neutre i presa de terra). El disseny de la instal·lació elèctrica es farà en base a la potència requerida pel total dels equips presents a la planta: bombes, bombes de buit, agitadors, compressors, portes mecàniques, ordinadors, sales de control, il·luminació, entre d'altres.

D'altra banda, però, degut a la dificultat que comporta la determinació de la potència consumida per la totalitat dels equips, es decideix prendre valors típics de potència necessària per plantes amb necessitats semblants a les de la planta CADMA CHEMICALS, per tindre una idea més exacta de la potència requerida. D'aquesta manera, s'obté una aproximació més acurada que no menyspreï o sobreestimi aquesta potència consumida, ja que no funcionaran tots els equips de forma simultània a la planta.

- **Estació transformadora**

L'empresa Ormazabal proporciona estacions transformadores per aplicacions industrials. S'escull el model amb aïllament líquid adequat per ús tant en establiments interiors com exteriors, i per xarxes de tensió mitjana fins a 36 kV. Les especificacions tècniques de l'estació transformadora escollida són les següents:

- Potència 25-2500 kVA
- Tensió primària fins a 36 kV
- Tensió secundària 420 V.

La figura 1.24. mostra una imatge de l'estació transformadora comprada a Ormazabal.



Figura 1.24. Estació transformadora.

La figura 1.25. mostra les característiques elèctriques i dimensions de l'estació transformadora escollida.

Características eléctricas		24 kV: C ₀ B _x (CC')									
Potencia asignada [kVA]		250	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Tensión asignada (Ur)	Primaria [kV]	20									
	Secundaria en vacío [V]	420									
Grupo de Conexión		Dyn11									
Pérdidas en Vacío - P ₀ [W]	Lista C ₁	425	610	720	860	930	1100	1350	1700	2100	2300
Pérdidas en Carga - P _k [W]	Lista B ₁	2730	3830	4600	5400	7000	9000	11000	14000	18000	22000
Impedancia de Cortocircuito [%] a 75°C		4	4	4	4	6	6	6	6	6	6
Nivel de Potencia Acústica L _{WA} [dB]	Lista C ₁	53	58	59	60	61	63	64	66	68	71
Caída de tensión a plena carga [%]	cos φ = 1	1.17	1.04	1.00	0.93	1.03	1.08	1.06	1.05	1.08	1.06
	cos φ = 0.8	3.22	3.13	3.10	3.06	4.35	4.37	4.38	4.35	4.35	4.35
	Carga 100% cos φ = 1	98.73	98.99	98.95	99.02	99.02	99.00	98.98	99.03	99.03	99.03
	cos φ = 0.8	98.44	98.63	98.69	98.77	98.78	98.73	98.73	98.79	98.79	98.79
Rendimiento [%]	Carga 75% cos φ = 1	98.96	99.08	99.13	99.18	99.20	99.19	99.17	99.21	99.21	99.21
	cos φ = 0.8	98.70	98.86	98.91	98.98	99.00	98.98	98.97	99.01	99.02	99.02
Dimensiones [mm]											
Potencia asignada [kVA]		250	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
A [Largo]		1376	1537	1622	1769	1997	1997	2007	1963	1963	2480
B [Ancho]		930	941	962	962	1200	1200	1182	1277	1277	1426
C [Alto a tapa]		915	1004	1092	1169	1158	1158	1373	1671	1713	1836
D1 [Alto a MT con Porcelana MT]		1360	1389	1477	1554	1543	1543	1758	2056	2100	2221
D3 [Alto a MT Barra enchufable MT]		1064	1093	1181	1258	1247	1247	1462	1760	1804	1923
D2 [Alto a BT con Palos]		1149	1238	1333	1430	1491	1491	1706	2040	2084	2266
F [separación MT]		273	273	273	273	273	273	273	273	273	273
H [separación entre BT]		130	130	150	150	150	150	150	200	200	200
J [Distancia entre ruedas]		670	670	670	670	670	670	820	820	820	1070
K [ancho rueda]		40	40	40	40	40	40	70	70	70	70
Ø [diámetro rueda]		125	125	125	125	125	125	200	200	200	200
L [Rueda]		110	110	110	110	110	110	165	165	165	165
Volumen Aceite [Litros]		260	325	390	390	520	500	660	1200	1243	1340
Peso total [Kg]		1100	1420	1810	1920	2530	2560	3200	4950	5150	5750

Figura 1.25. Característiques elèctriques i dimensions de l'estació transformadora.

- **Grups electrògens**

S'haurà de disposar de grups electrògens que garanteixin el subministrament continu de corrent elèctric a la planta, per suplir l'electricitat inclús en situacions de fallada o caiguda de la xarxa elèctrica. Els grups electrògens hauran de disposar de la potència suficient per perllongar el funcionament dels sistemes de control, els equips més importants i els sistemes informàtics imprescindibles de la planta fins restablir el corrent elèctric.

L'empresa FGWilson subministra grups electrògens, a la qual s'ha decidit comprar el model P-2500-1 per una potència nominal de 2250 kVA i de 2500 kVA en cas d'emergència. La figura 1.26. mostra una imatge del model escollit.



Figura 1.26. Grup electrogen de FGWilson model P-2500-1.

Les figures 1.27. a 1.33. mostren les especificacions tècniques dels grups electrògens escollits junt amb la les seves dimensions i rendiment corresponents.

Datos de potencia y rendimiento		
Marca y modelo del motor:	Perkins 4016-61TRG3	
Alternador fabricado para FG Wilson por:	Leroy Somer	
Modelo de alternador:	LL9224P	
Cuadro de control:	PowerWizard 1.1+	
Bancada:	Acero fabricado de gran resist	
Tipo de interruptor:	3 Pole ACB	
Frecuencia:	50 Hz	60 Hz
Velocidad del motor: RPM	1500	-
Capacidad del depósito de combustible: l (US gal)	-	
Consumo de combustible: l/h (US gal/h) (carga 100%)	-	
	- Continua	470,0 (124,2) -
	- Emergencia	527,0 (139,2) -

Figura 1.27. Potència i rendiment dels grups electrògens.

Dimensiones y pesos				
Longitud (L) mm (in)	Anchura (W) mm (in)	Altura (H) mm (in)	En seco kg (lb)	En húmedo kg (lb)
5972 (235,1)	2180 (85,8)	3402 (133,9)	14053 (30982)	14488 (31941)
En seco = con aceite lubricante		En húmedo = con aceite lubricante y refrigerant		

Figura 1.28. Dimensions i pesos dels grups electrògens

Datos técnicos del motor		
N.º de cilindros/alineación:	16 / Vee	
Ciclo:	4 tiempo	
Diámetro/carrera: mm (in)	160,0 (6,3)/190,0 (7,5)	
Inducción:	Aire turbocomprimido refrigerado por agua	
Método de enfriamiento:	Agua	
Tipo de regulador:	Electrico	
Clase de regulador:	ISO 8528 G2	
Relación de compresión:	13.0:1	
Cilindrada: l (cu.in)	61,1 (3730,0)	
Momento de inercia: kg m² (lb/in²)	20,72 (70803)	
Sistema eléctrico del motor:		
- Tensión/tierra	24/Negativo	
- Amperios del cargador de baterías	40	
Peso: kg (lb)	- En seco	5570 (12280)
	- En húmedo	5847 (12890)

Figura 1.29. Dades tècniques dels motors dels grups electrògens.

Sistema de aire	50 Hz	60 Hz
Tipo de filtro de aire:	Elemento sustituible	
Flujo de aire de combustión: m ³ /min (cfm)		
- Continua	160,0 (5650)	-
- Emergencia	175,0 (6180)	-
Restricción máx. en admisión del aire de combustión: kPa (En H ₂ O)	3,7 (14,9)	-

Figura 1.30. Sistema d'aire integrat als grups electrògens

Sistema de refrigeración		50 Hz	60 Hz
Capacidad del sistema de refrigeración:			
l (US gal)		436,0 (115,2)	-
Tipo de bomba de agua:		Centrugo	
Calor disipado en el agua y aceite lubricante:			
kW (Btu/min)			
		- Continua 757,0 (43050)	-
		- Emergencia 830,0 (47201)	-
Radiación de calor a la sala: Radiación de calor desde el motor y el alternador			
kW (Btu/min)			
		- Continua 206,1 (11721)	
		- Emergencia 236,0 (13421)	
Consumo del ventilador del radiador: kW		85,7 (114,9)	-
Flujo del aire de refrigeración del radiador: m ³ /min (cfm)		2625,6 (92722)	-
Restricción externa en el caudal del aire de refrigeración: Pa (in H ₂ O)		250 (1,0)	-

Figura 1.31. Sistema de refrigeració dels grups electrògens.

Sistema de lubricación	
Tipo de filtro de aceite:	De giro, flujo total
Capacidad total de aceite: l (US gal)	238,0 (62,9)
Capacidad del cárter: l (US gal)	213,0 (56,3)
Tipo de aceite:	API CG 15W-40 CH4
Método de refrigeración del aceite:	Agua

Figura 1.32. Sistema de lubricació dels grups electrògens.

Sistema de combustible				
Tipo de filtro de combustible:		Elemento sustituible		
Combustible recomendado:		Diel clase A2		
Consumo de combustible: l/h (US gal/h)				
	110%	100%	75%	50%
Continua	Carga	Carga	Cargad	Cargad
50 Hz	527,0 (139,2)	470,0 (124,2)	351,0 (92,7)	245,0 (64,7)
60 Hz	-	-	-	-

Figura 1.33. Sistema pel combustible dels grups electrògens.

- **Dipòsit de gasoil**

El dipòsit de gasoil permetrà el funcionament dels equips que requereixen aquest com a combustible. El gasoil és un derivat del petroli obtingut per destil·lació fraccionada entre els 200 °C i 350 °C a pressió atmosfèrica. Es compon d'un 75% d'hidrocarburs saturats i un 25% d'hidrocarburs aromàtics.

El principal consum del dipòsit de gasoil correspon als grups electrògens per a poder garantir el corrent elèctric donada una situació d'emergència a la planta.

Partint de la base que cada grup electrogen consumeix com a màxim 527 litres per hora i s'ha de garantir 90 minuts de funcionament ininterromput d'aigua contra incendis, es realitza el següent càlcul per conèixer la quantitat de gasoil a emmagatzemar:

$$V_{\text{gasoil}} = 90 \text{ min} \cdot \frac{1 \text{ h}}{60 \text{ min}} \cdot \frac{527 \text{ L}}{\text{h}} = 791 \text{ L}$$

Arrodonint aquesta quantitat calculada de gasoil a un volum estàndard, es decideix posar un dipòsit de 1000 litres de capacitat per fer funcionar els grups electrògens. D'altra banda, altres equips com poden ser carretes elevadores, maquinària pesada, i altres elements, també requeriran gasoil com a combustible, pel que es disposarà d'un altre dipòsit de gasoil de igual capacitat destinat a aquests equips diferents dels grups electrògens. Es farà un ús alternatiu d'ambdós dipòsits de gasoil per evitar que el combustible es mantingui durant un període de temps excessivament llarg emmagatzemat, i es puguin produir alteracions de la qualitat d'aquest. Quan un dels dipòsits estigui a punt d'esgotar-se, s'haurà de reomplir aquest i es passarà a buidar l'altre dipòsit però fins que no s'hagi omplert del tot no es podrà començar a utilitzar l'altre dipòsit.



Figura 1.34. Dipòsit de gasoil.

Es decideix comprar els dipòsits a l'empresa ROTH construïts en xapa d'acer galvanitzat amb elevada resistència a la corrosió, per una capacitat de 1000 litres amb les dimensions recollides a la figura 1.35.

Capacidad (l)	Longitud (mm)		Anchura (mm)	Altura (mm)*		Peso (kg)
	Con asas	Sin asas		Con palet	Palet+indicador	
400	755	730	700	1.128	1.208	48
620	750	730	700	1.615	1.690	62
1.000	1.290	1.260	760	1.410	1.490	89
1.500	1.658	1.627	762	1.861	1.933	150

Figura 1.35. Dimensions dels dipòsits de gasoil de 1000 litres.

- Estació de bombeig

A continuació es detalla la funció de cadascun dels components d'una estació de bombeig:

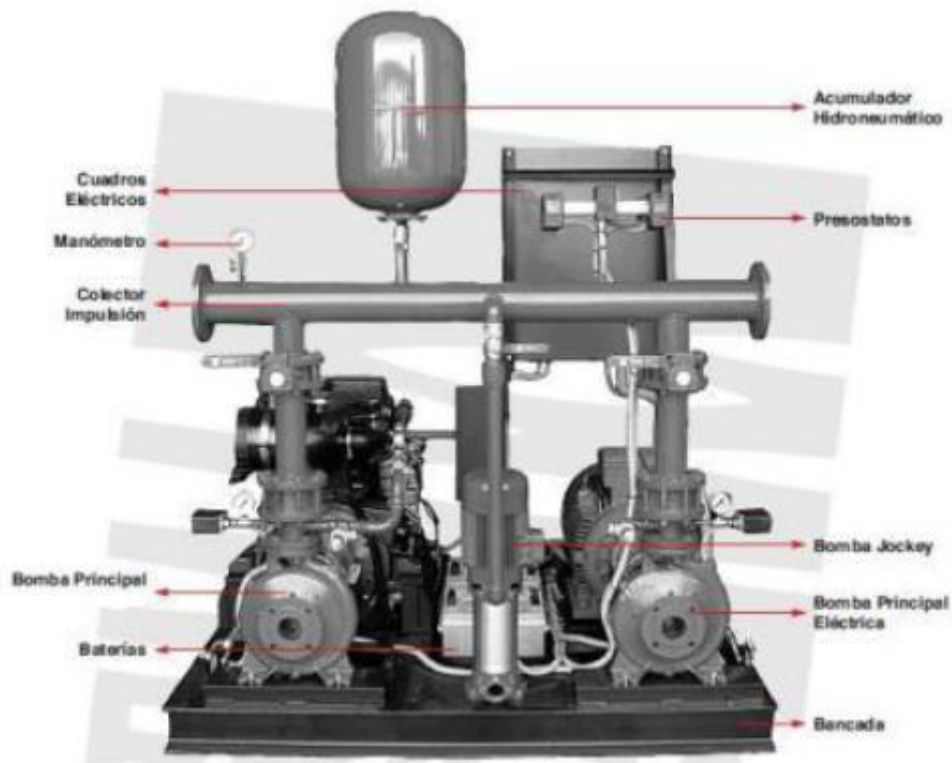


Figura 1.36. Components d'una estació de bombeig.

1. Bomba principal: subministra el cabal necessari a la pressió requerida per la instal·lació, per cada punt concret (mànegues, hidrants, ruixadors...). La posta en marxa de la bomba pot ser tant manual com automàtica, però la parada haurà de ser manual.
2. Bomba de reserva: consta de les mateixes característiques i funcions que la bomba principal, però aquesta entrarà en funcionament quan la principal no es posi en marxa degut a qualsevol motiu. L'accionament de la bomba de reserva serà independent del emprat per la bomba principal (2 bombes elèctriques amb fonts d'energia independents). La parada també haurà de ser de forma manual.
3. Bomba auxiliar (Jockey): té la funció de mantenir pressuritzada la instal·lació o bé fer front a petites demandes o possibles fugues que puguin haver. El seu funcionament vindrà controlat per un pressòstat que detecti les variacions de pressió al calderí del col·lector de sortida de la instal·lació.

4. Quadres elèctrics de control: la seva funció és el control, maniobra i protecció dels diferents elements que componen el grup contra incendis. En funció de les característiques de l'estació de bombeig, presentarà uns components o altres, però sempre constarà d'un bloc de connexions, fusibles de protecció, contactors, protectors magneto-tèrmics, un transformador, bateria, carregador de la bateria, sirena, etc.
5. Pressòstats: són interruptors automàtics que actuen en funció de la pressió i ordenen la posta en marxa de les bombes. Es regulen segons el punt de treball concret per la instal·lació.
6. Dipòsit o calderí: correspon a una reserva d'aigua a pressió que controla que la bomba auxiliar no arranqui i pari contínuament, en cas d'existir una fuga o petita demanda. Alhora, també la funció d'esmoreïdor a la instal·lació evitant variacions brusques de la pressió, procurant facilitar la regulació els pressòstats i alleujar o evitar efectes no desitjats com pot ser el cop d'ariet.
7. Vàlvula de seguretat: evita que la bomba principal treballi en cabal nul, permetent la sortida d'un petit cabal que facilita la refrigeració del cos de la bomba i evitant així, danys per sobreescalfament de la bomba. L'ús de la vàlvula de seguretat és imprescindible degut a la necessitat de parada manual de les bombes principals, ja que aquestes no es troben regulades per pressòstats.

Els grups principals contaràn amb arrancada automàtica i manual i parada únicament manual. Com que la bomba auxiliar arranca i para automàticament, s'haurà d'evitar la repetició molt intermitent de posta en marxa i parada per evitar possibles imperfeccions a la xarxa.

L'equip de bombeig constarà de les següents exigències hidràuliques de treball:

- Pressió nominal (P): expressada en bar, correspon a la manomètrica total de la bomba pel seu cabal.
- Pressió d'impulsió: correspon a la pressió nominal més la pressió d'aspiració amb el signe adequat. La pressió d'impulsió igual o superior a la pressió mínima especificada o calculada pel sistema.
- L'estació de bombeig principal haurà de ser capaç d'impulsar com a mínim el 140% del cabal nominal (Q) a una pressió no inferior al 70% de la pressió nominal.

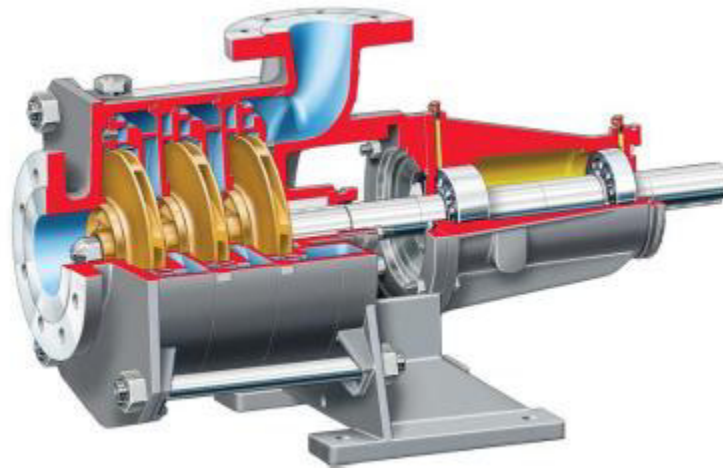


Figura 1.37. Bomba principal de l'estació de servei.

1.6. Bibliografia

- [Web online].<>. <http://www.igc.cat/web/es/> [Consulta: 05/05/2015].
- [Web online] <>. <http://encyclopedia.airliquide.com/> [Consulta: 05/05/2015].
- [PDF online]<>. http://www.ccvoc.cat/ccvoc2/recursos/recursos/part_en_castell_.pdf [Consulta: 07/04/2015].
- [Web online] <>. <http://es.climate-data.org/location/3039/> [Consulta: 07/04/2015]
- Patent:US 2450415. Anthony F. Benning, Woasdsdow town, N, J., Distillation process for separating products of carbón tetrachloride fluorination
- Patent: US 2426637. William S. Murray, Willmigton, Del, Process os separating CCIF₃.