



# PLANTA PER A LA FABRICACIÓ DE SEVIN®



Aida Ballester López  
Álex del Pino García  
Guillem Pascual Sanahuja  
Maria Santafé Villarroja  
Joan Serra Delgado

Curs 2013-2014

**UAB**  
Universitat Autònoma  
de Barcelona

**e** escola  
d'enginyeria

# ÍNDEX

<b>1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Definició del projecte .....</b>	<b>1</b>
1.1.1. Bases del projecte .....	1
1.1.2. Abast del projecte.....	1
1.1.3. Localització de la planta .....	2
1.1.4. Nomenclatura .....	6
<b>1.2. Descripció del procés de fabricació.....</b>	<b>7</b>
1.2.1. Processos de producció del carbaril.....	7
1.2.2. Procés escollit pel disseny de la planta .....	18
1.2.3. Descripció detallada del procés via MCC i 1-naftol .....	18
1.2.4. Diagrama de blocs del procés via MCC i 1-naftol.....	21
1.2.5. Propietats fisicoquímiques dels reactius i productes del procés via MCC i 1-naftol	23
1.2.6. Aplicacions del Carbaril .....	32
1.2.7. Evolució del mercat .....	32
1.2.8. Producció mundial de Carbaril.....	34
1.2.9. Àcid clorhídric amb concentració del 37% en pes com a subproducte.....	35
<b>1.3. Constitució de la planta .....</b>	<b>36</b>
1.3.1. Àrees .....	36
1.3.2. Balanç de matèria.....	39
1.3.3. Planificació temporal .....	49
1.3.4. Plantilla treballadors.....	53
<b>1.4. Necessitats i especificacions de serveis.....</b>	<b>54</b>
1.4.1. Aigua de la xarxa .....	54
1.4.2. Aigua per incendis .....	55
1.4.3. Aigua descalcificada (DC-501) .....	55
1.4.4. Grup de fred (CH-501) .....	58
1.4.5. Calderes d'oli tèrmic (CO-501 i CO-502).....	60

1.4.6.	Gas natural.....	64
1.4.7.	Nitrogen (T-501 i T-502).....	65
1.4.8.	Aire comprimit .....	69
1.4.9.	Electricitat.....	72
1.4.10.	Dipòsit de gasoil.....	77
1.4.11.	Estació de bombeig.....	78
1.4.12.	Clavegueram.....	81



## 1. ESPECIFICACIONS DEL PROJECTE

### 1.1. Definició del projecte

L'objectiu del projecte és mostrar el disseny d'una planta química per a la producció de Carbaril, comunament comercialitzat com SEVIN® (marca registrada per la companyia Bayer), produït per la via clorur de metilcarbamil i alfa-naftol. El projecte ha de ser viable econòmicament, així com en termes de disseny. S'han de complir totes les legislacions i les normatives urbanístiques vigents en el territori, tant en la seguretat de les persones que treballen a la planta com en l'aspecte mediambiental. El projecte exposa totes les dades de disseny, muntatge, posada en marxa, operació, economia, seguretat, higiene, medi ambient, personal i logística que permeten el funcionament viable de la planta.

#### 1.1.1. Bases del projecte

Es divideix la planta en diferents àrees, depenent de la funció dels equips que hi ha en elles.

- Unitats de procés i reacció per a la producció i purificació de Carbaril.
- Unitats d'emmagatzematge de matèries primes i estacions de càrrega i descàrrega.
- Emmagatzematge intermedi de MIC.
- Emmagatzematge de Carbaril com a producte acabat.
- Àrea de fabricació de SEVIN®.
- Àrees de serveis.
- Oficines, laboratoris i vestuaris.
- Àrees auxiliars (aparcaments, control d'accés, contra incendis, depuració d'aigües i gasos).

La planta ha de ser capaç de produir 10500 Tn/any de SEVIN®, amb un funcionament de 300 dies/any de producció. El producte acabat es presenta en forma de sòlid en big-bags de 1000 kg.

#### 1.1.2. Abast del projecte

L'abast del projecte és molt ampli, ja que els aspectes que determinen el funcionament d'una planta química són molt diversos. S'han d'incloure els aspectes:

- Disseny i especificacions de tots els equips que intervenen en el procés.
- Disseny i especificacions de tot el sistema de control que s'usa per monitoritzar el correcte funcionament de la planta.
- Disseny dels elements de seguretat i higiene necessaris.

- Estudi sobre l'impacte mediambiental que es produeix i verificació del compliment de les legislacions vigents en el territori.
- Anàlisi de la rendibilitat econòmica del projecte.
- Disseny i descripció de l'operació, posada en marxa, parada de la planta.

### 1.1.3. Localització de la planta

La planta es troba al terme municipal de Tarragona . Tarragona és una de les quatre ciutats més importants de Catalunya, situada a la part sud de la mateixa. És el segon port més important de Catalunya i té un gran teixit industrial. Tarragona és capital de la província de Tarragona i de la comarca del Tarragonès. La planta es construeix en un terreny fictici al polígon industrial "Escriptors". La planta ha de complir la normativa urbanística del polígon industrial. S'ha de tenir en compte les reculades a vials i veïns, altura dels edificis, ocupació de la parcel·la i edificabilitat.



**Figura 1.1.** Localització de Tarragona a Catalunya.

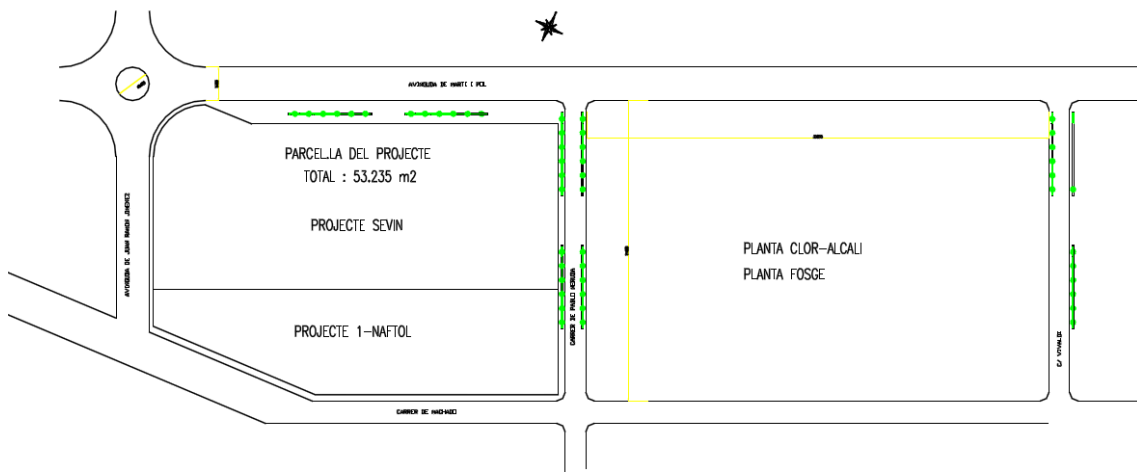
El terreny del que es disposa per a la construcció de la planta té una extensió de 53235 m<sup>2</sup> i una resistència de 2 kg/cm<sup>2</sup> a 1.5 m de profunditat sobre graves.

Els paràmetres d'edificació del polígon "Escriptors" són:

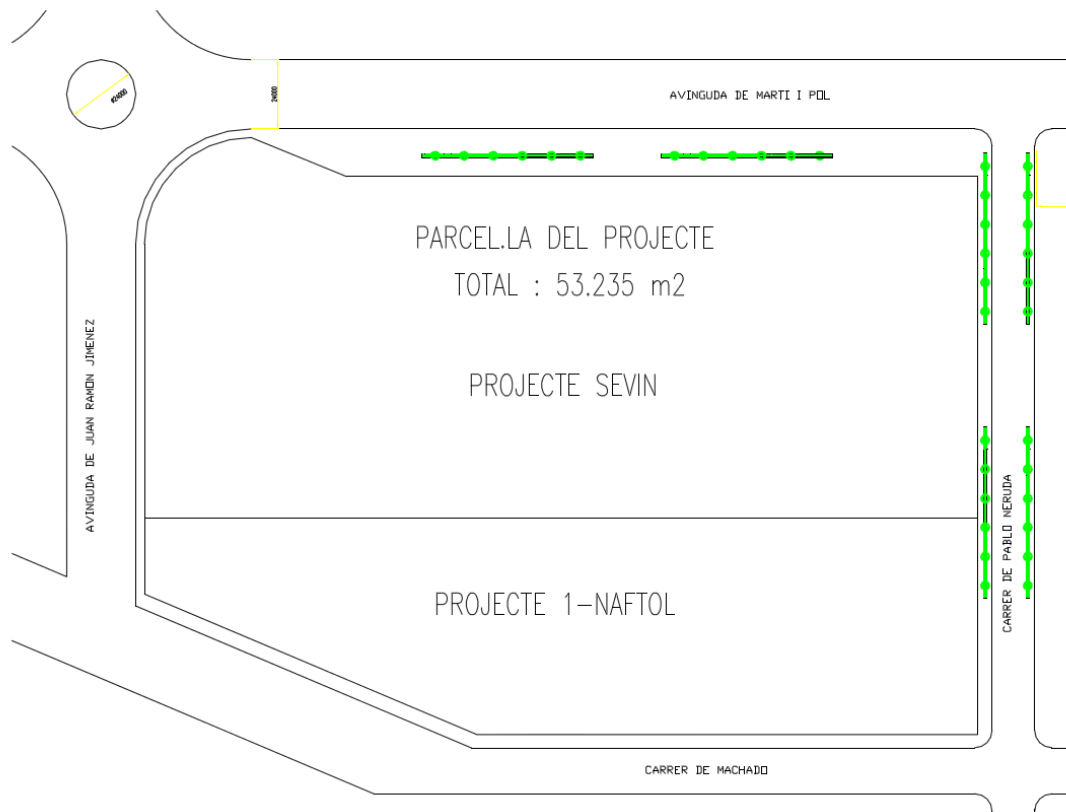
**Taula 1.1.** Especificacions de la parcel·la de la planta.

ESPECIFICACIONS DE LA PARCEL·LA DE LA PLANTA	
<b>EDIFICABILITAT</b>	2 m <sup>2</sup> sostre/m <sup>2</sup> terra.
<b>OCUPACIÓ MÀXIMA DE LA PARCELA</b>	80%.
<b>OCUPACIÓ MÍNIMA DE LA PARCELA</b>	25% de la superfície d'ocupació màxima.
<b>RECUADES</b>	5 m a vials i veïns.
<b>ALTURA MÀXIMA</b>	15 m i 3 plantes excepte en producció, justificant la necessitat pel projecte.
<b>ALTURA MÍNIMA</b>	4 m i 1 planta.
<b>APARCAMENTS</b>	1 plaça/200 m <sup>2</sup> construïts.
<b>DISTÀNCIA ENTRE EDIFICIS</b>	1/3 del edifici més alt amb un mínim de 5 m.

A continuació, les figures 1.2 i 1.3 mostren les imatges de la parcel·la total i la ampliació de la ubicació de la parcel·la del projecte on es construirà la planta.



**Figura 1.2.** Mapa de la parcel·la total.



**Figura 1.3.** Mapa de la parcel·la del projecte.

#### 1.1.3.1. Climatologia de Tarragona

Tarragona gaudeix del clima Mediterrani on els estius són càlids i els hiverns són suaus. La Temperatura mitjana és d'uns 17 °C. Les precipitacions són irregulars, havent-hi més a la primavera i a la tardor. La mitjana anual de precipitacions és de 500 mm on sovint es tracta de pluges torrencials de poca durada, normalment durant l'estiu i la tardor. La neu no és molt freqüent i quan neva ho fa de forma poc intensa i de poca durada, cosa que fa que no qualli casi mai. Les gelades no es solen produir. Els valors més extrems de temperatura registrats són -6.5 °C l'any 1956 i 39 °C al 2010. El vent predominant és el Mestral (NO), que té un caràcter fred i sec quan ve de l'est i càlid i humit quan ve de l'oest.

#### 1.1.3.2. Xarxa de comunicacions de Tarragona

Tarragona és troba situada en un punt estratègic, sota de Barcelona i connectada amb varies autopistes amb Europa i la resta de la península ibèrica. Pel que fa a la xarxa viària, Tarragona té una àmplia varietat de carreteres nacionals com la N-340 (parcialment desdoblada), la N-320 i la N-240. També disposa d'autopistes com la AP-2 (Barcelona-Madrid) i la AP-7 (França-Barcelona-València, l'Autopista del Mediterrani).



A més petita escala, també hi ha una sèrie de carreteres comarcals que permeten un tràfic fluid i un fàcil accés a qualsevol part del terme municipal (C-14, C-44, C-31B, T-722 i T-310).



Figura 1.3. Xarxa viària de Tarragona.

Pel que fa a la xarxa de comunicacions ferroviàries, també es té una situació estratègica. Les línies enllacen Europa amb el sud de la península, així com amb Madrid, Portugal i el nord d'Espanya. També existeix la línia d'alta velocitat per a passatgers anomenada AVE, que enllaça Tarragona amb Madrid en poc més de tres hores i amb la frontera francesa en menys de una i mitja. Fa poc es va aprovar un pla que permetrà construir un corredor ferroviari que enllaçarà el mediterrani espanyol amb Europa, en una línia d'ample europeu i permetrà el transport massiu de mercaderies.



Figura 1.4. Xarxa ferroviària de Tarragona.

En l'àmbit de les comunicacions aèries, Tarragona disposa de dos aeroports. El més proper, a uns 7 km, l'aeroport de Reus, i l'aeroport internacional de Barcelona - El Prat, a uns 100 km aproximadament.

Principal port comercial i de passatgers de la Costa Daurada, Tarragona és una ciutat marinera i el seu port és de gran importància en el Mediterrani. Anualment es manegen 31.5 milions de tones de carregaments de tot tipus, agafant el rol principal en el transport de compostos petroquímics d'Espanya.

#### 1.1.4. Nomenclatura

A continuació es mostren les abreviatures utilitzades a la memòria del projecte per designar equips i compostos químics a les taules 1.2 i 1.3.

**Taula 1.2.** Abreviació dels equips del procés.

Abreviatura	Descripció de l'equip	Abreviatura	Descripció de l'equip
A	Agitador	DP	Dipòsit pulmó
BC	Bescanviador de calor	DR	Dipòsit refredat amb un Chiller
BS	Bàscula de camions	EB	Empaquetador de big-bags
C	Compressor	ET	Estació transformadora
CA	Columna d'absorció	GE	Grup electrogen
CD	Columna de destil·lació	IN	Incineradora
CG	Cargol giratori	P	Bomba
CH	Grup de fred (Chiller)	R	Reactor
CL	Col·lector	RS	Refredador de sòlid
CO	Caldera d'oli tèrmic	BF	Bufant
CR	Cristal·litzador	SJ	Sitja
CS	Columna de stripping	ST	Assecador
CT	Centrífuga	T	Tanc d'emmagatzematge
D	Dipòsit	TC	Tub capil·lar
DB	Desempaquetador de big-bags	TX	Torxa
DC	Descalcificador	V	Vàlvula
DM	Dipòsit de mescla	VP	Bomba de buit

**Taula 1.3.** Abreviació dels compostos químics del procés.

Abreviatura	Compost químic
MMA	Monometilamina
F	Fosgè
AN	1-Naftol
HCL	Clorur d'hidrogen
MCC	Clorur de metilcarbamil
MIC	Metil isocianat
CAR	Carbaril
NA	Hidròxid de sodi
TO	Toluè
AC	Àcid clorhídric
N2	Nitrogen
O2	Aire
H2O	Aigua
OT	Oli tèrmic

## 1.2. Descripció del procés de fabricació

Les especificacions del projecte són molt clares en quant a la producció de Carbaril per la via de MIC i partint dels reactius fosgè i MMA. No obstant, no és la via més favorable des del punt de vista de seguretat i medi ambient degut a la gran perillositat del MIC. Tot i així, és la via amb la que s'aconsegueix una major puresa del producte i un major rendiment del procés.

A continuació, es descriuran els processos de producció de carbaril, diferenciant entre vies alternatives on no s'utilitza MIC com a intermedi i els que sí utilitzen MIC. Dins el grup de processos que utilitzen MIC es desglossarà en 2 subgrups segons si utilitzen fosgè i MMA o no.

### 1.2.1. Processos de producció del carbaril

#### 1.2.1.1. Processos de vies alternatives on no s'utilitza MIC

Existeixen una sèrie de vies alternatives per produir Carbaril on no és necessari utilitzar el MIC:

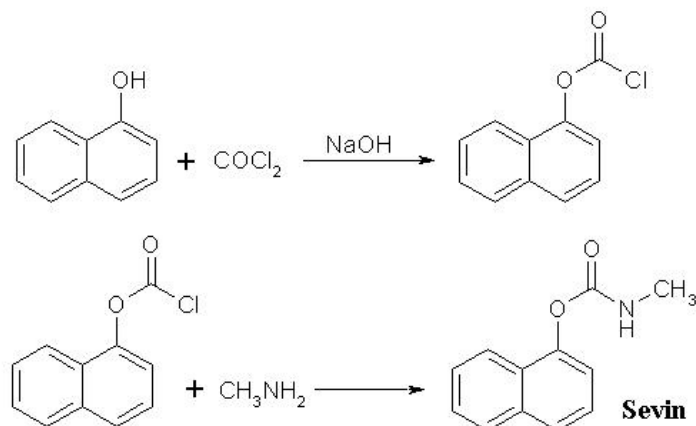
- Via 1-Naftol i Fosgè (procés cloroformat):

Correspon al mètode emprat per Union Carbide Corporation (UCC) al 1958 per comercialitzar Carbaril.

Aquest procés utilitza les matèries primeres 1-Naftol i fosgè però no es produeix MIC per arribar al producte final. Es comença reaccionant en medi bàsic el 1-Naftol i el fosgè per a formar naftol cloroformat (menys perillós i tòxic que el MIC).

Aquest es fa reaccionar amb la MMA per a la obtenció del Carbaril. Aquest procés es va utilitzar com a alternativa al procés isocianat.

○ Reaccions:

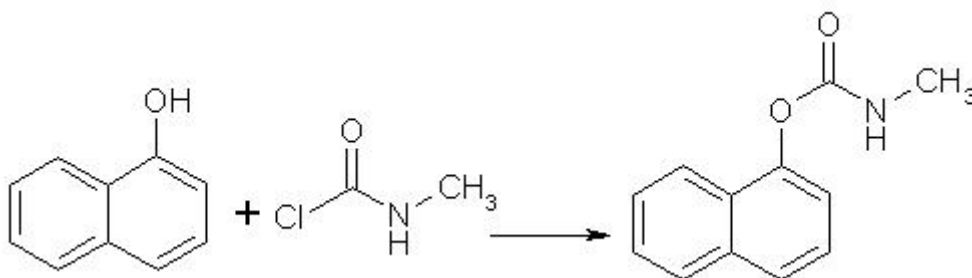


Aquest procés té l'avantatge de no haver de produir MIC, amb l'eliminació de totes les mesures de seguretat que implica la producció d'aquest compost extremadament perillós.

• Via 1-Naftol i MCC:

També es pot aconseguir carbaril directament des del MCC i el 1-Naftol, però tant els rendiments com el grau de puresa del producte final són baixos.

○ Reacció:

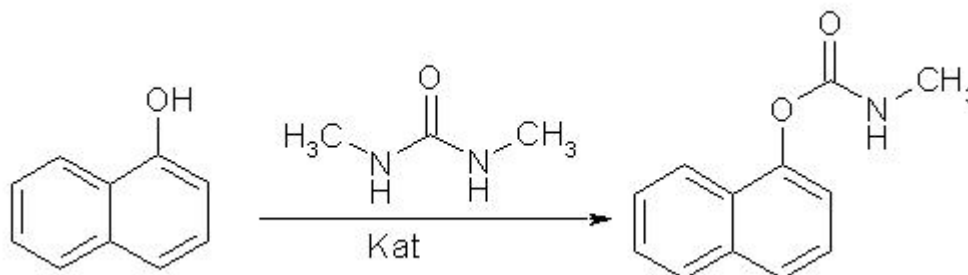


Es forma clorur d'hidrogen com a subproducte, fet que disminueix tant el rendiment com la puresa del Carbaril obtingut al final del procés.

- Via 1-Naftol i dimetilurea:

Es produeix Carbaril a partir de 1-Naftol i dimetilurea.

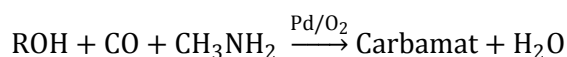
- Reaccions:



En aquest procés no es generen subproductes ni productes intermedis tòxics.

- Via 1-Naftol i MMA:

Arrel de l'accident de Bhopal, UCC comença a investigar al 1985 un procés alternatiu per a la producció de carbamats en general segons la següent reacció:



Essent el radical "R" equivalent a C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>, corresponent al 1-Naftol. Aquest procés elimina la necessitat de manipular amb nombroses substàncies potencialment perilloses com són el Clor, el foscè i el MIC. El principal inconvenient prové dels requeriments elevats de recuperació i productivitat de Pal·ladi segons menciona l'empresa Asahi Chemical en el seu article inclòs al "Journal of Organic Chemistry" de 1984.

#### 1.2.1.2. Processos via MIC

El principal factor que diferencia els processos de producció de carbaril és la producció de MIC, per tant es focalitza en descriure els diferents processos per produir-lo. Es classifiquen entre si utilitzen els reactius especificats o no.

##### 1.2.1.2.1. Processos on no s'utilitza el Foscè o la MMA

Existeixen diversos processos on no és necessària la utilització del Foscè o de la MMA.

- 1-Naftol i MIC (procés isocianat):

El procés isocianat correspon a l'escollit per a l'elaboració de la planta de fabricació de SEVIN®, el qual es descriu en detall a l'apartat 1.2.2 d'aquest capítol.

- Processos Du Pont:

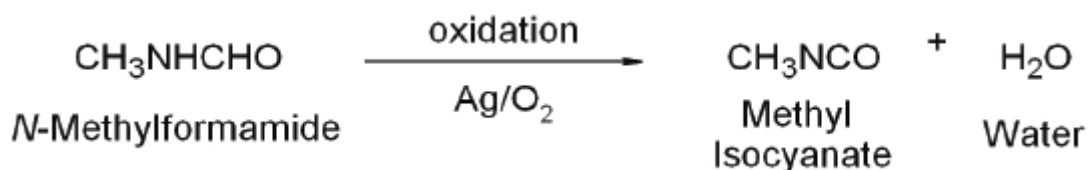
- a) L'empresa DuPont va començar la producció de Metomil l'any 1966 fent reaccionar Metomil oxima amb MIC amb el denominat procés isocianat.
- b) Quan la producció mundial de MIC va reduir-se degut al desastre de la planta de UCC a Bhopal l'any 1985, Du Pont va desenvolupar un procés d'oxidació de N-metilformamida per a produir el seu propi MIC gasós. És en aquest moment, quan l'empresa integra la producció en continu de Metomil per minimitzar l'emmagatzematge de MIC.

El procés Du Pont combina la MMA amb CO per a formar N-metilformamida. La N-metilformamida s'oxida amb Plata/Oxigen a molt alta temperatura per tal de que es formi MIC gasós i aigua.

- Reaccions:



La N-metilformamida es transforma en MIC i aigua segons:



Per tal d'evitar que el MIC reaccioni exotèrmicament amb l'aigua, just després de la seva obtenció es dirigeix cap a una unitat de producció de carbamats (Carbaril).

Es tracta d'un procés en continu on s'elimina la unitat d'emmagatzematge de MIC cosa que és molt beneficiosa, ja que és la part més perillosa de qualsevol procés on es manipuli MIC.

Més endavant, al 1976, Sun Venture i DuPont modifiquen la reacció de N-metilformamida per realitzar la hidrogenació catalítica d'aquesta per convertir-se en MIC, amb majors rendiments que amb l'oxidació mitjançant Plata/Oxigen.

- **Avantatges:** menors costos que el procés cianat (descriu a continuació) amb millors tecnologies. Es disposa de MIC diluït en corrents de nitrogen: molt inert químicament. Alhora, el fet de disposar de MIC gasós directament com a reactiu implica no tindre pràcticament emmagatzemat MIC, per usar-lo un cop és sintetitzat (Just In Time).
- **Inconvenients:** requereix d'una planta pilot amb un desenvolupament i posta en marxa llargs. La qualitat del MIC és baixa (en comparació al mètode UCC) fet que la qualitat del producte també ho sigui, ja que no disposa de la tecnologia tant bona com el procés cianat. Combina funcionament en batch i en continu al llarg del procés, fet que implica la necessitat de tindre un emmagatzematge de MIC considerable. Es poden generar traces de productes tòxics com per exemple àcid cianhídric. Dependència de la variabilitat de costos de la N-metilformamida provinent de la competència.

El procés DuPont és el que presenta millor competitivitat de costos, però porta associats efectes secundaris en la qualitat del producte final que es no s'arriben a conèixer del tot. A la vegada, produeix una elevada quantitat de residus que implica la seva manipulació i tractament com a costos afegits. D'altra banda, el catalitzador emprat té un temps de vida curt, fet que implica moltes parades per fer manteniments.

- Adducte sòlid de MIC/NaHSO<sub>3</sub>:

Seguint les mateixes reaccions que pel procés isocianat descrit anteriorment, l'ús de l'adducte sòlid permet una manipulació més segura de l'intermedi.

- Procés Cianat:

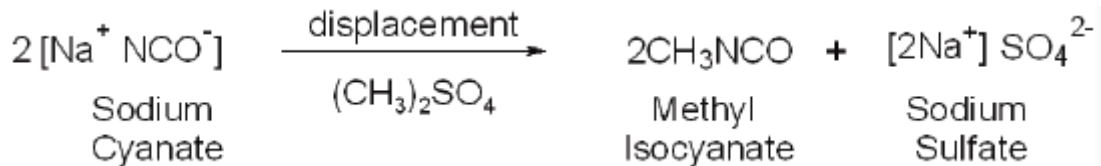
Al 1985, degut al greu accident de Bhopal, UCC va investigar possibles alternatives donant importància a altres processos no tan coneguts que proporcionaven major seguretat en la producció de MIC. Entre elles es trobava el procés Cianat, utilitzat per l'empresa Sunko a l'estiu de 1980.

El procés Cianat s'ha utilitzat amb èxit a Sudàfrica i actualment és el mètode que es fa servir a l'Àsia per produir MIC. El mètode combina Cianat potàssic o sòdic amb dimetilsulfat en el si d'un dissolvent aromàtic orgànic per a generar MIC i sulfat potàssic o sòdic. És un dels mètodes més vells per a la síntesi del MIC, ja que va ser descobert per Alfred Wurtz al 1849.

A diferència del procés DuPont, es tracta d'un procés en batch que requereix una certa capacitat per a emmagatzemar MIC.

S'aconsegueix una conversió d'un 80-85% respecte el Cianat que s'afegeixi. També cal destacar que amb aquest sistema es generen una gran quantitat de residus, concretament es 1,5 kg de sulfats per cada kg de MIC produït.

○ Reacció:



- **Avantatges:** redueix de manera considerable la necessitat d'emmagatzemar MIC (90 kg o menys). Produeix MIC només sota demanda podent treballar per lots.
- **Inconvenients:** el transport i manipulació de dimetilsulfat com a producte tòxic. Produeix una elevada quantitat de residus (6 kg per cada kg de MIC). La producció és elevada pel que l'emmagatzematge és gran per poder fabricar en continu, o alternativament, tindre molts reactors que treballin en batch. Això implica un gran nombre d'equips, augmentant el riscos que puguin afectar a la seguretat de la planta. La qualitat del producte es veu molt afectada per la presència d'impureses en el MIC. Depèn molt de la disponibilitat de NaOCN, la variabilitat dels costos. L'impacte ambiental ocasionat és considerable.

La figura 1.2.1.2.1 mostra el diagrama de blocs del procés Cianat emprant dimetilsulfat (DMS).



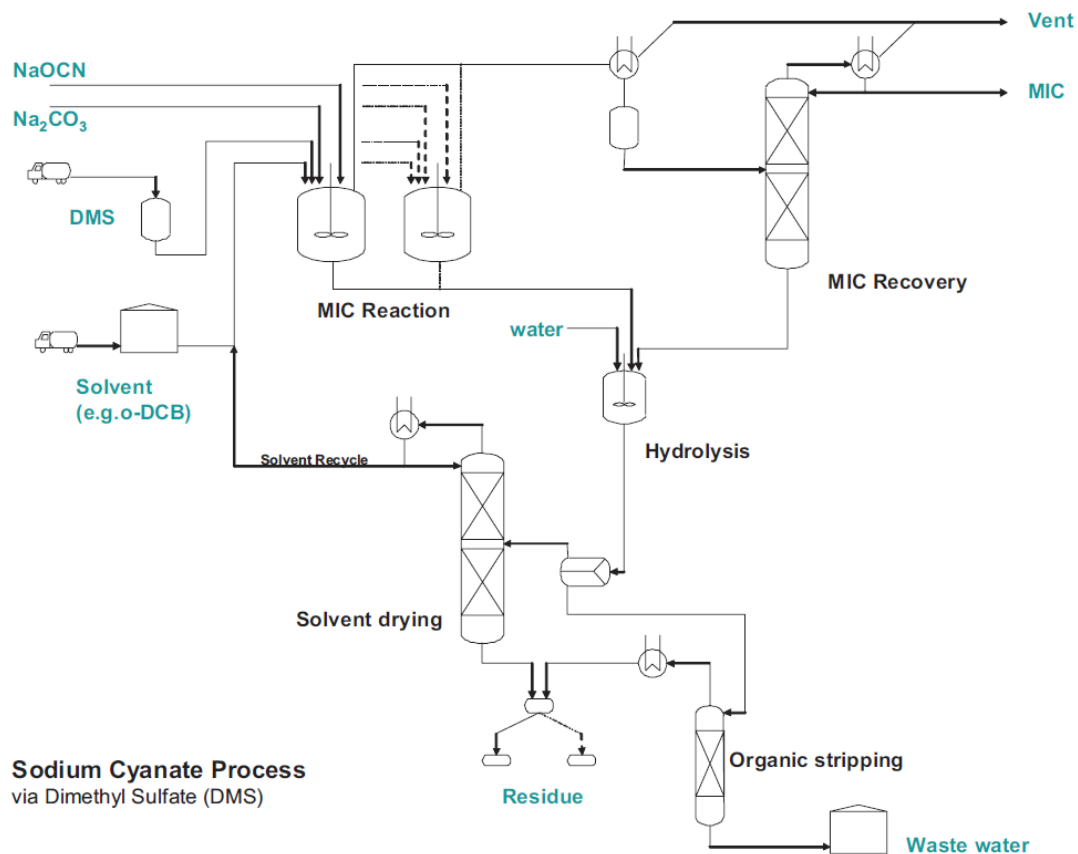


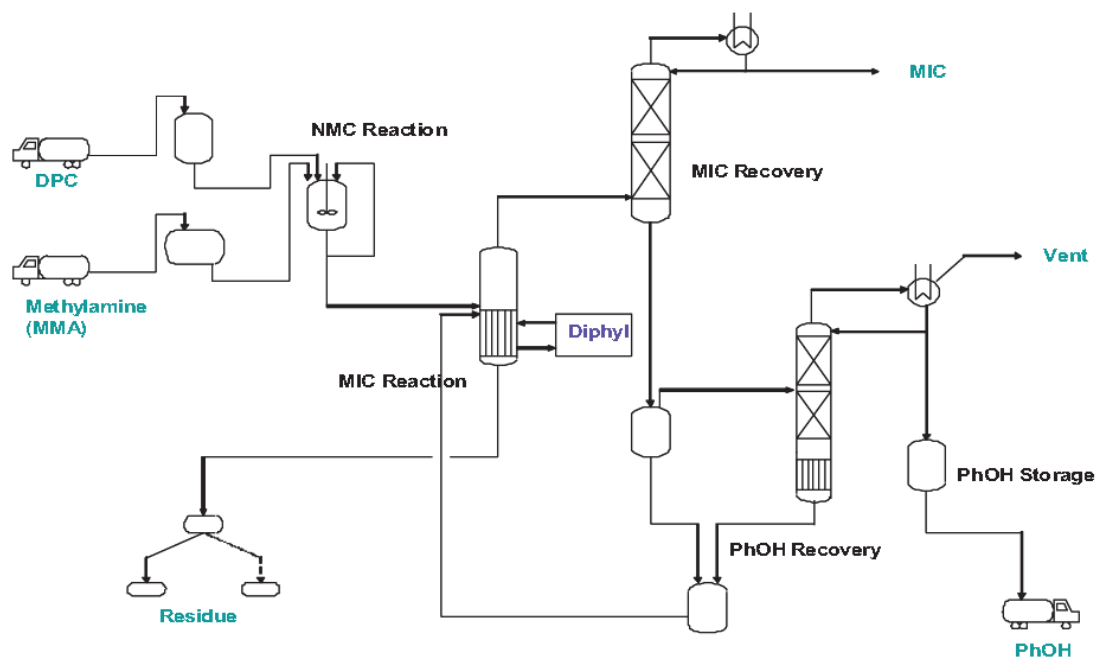
Figura 1.2.1.2.1. Diagrama de blocs del procés Cianat.

- Procés difenilcarbonat:

El procés difenilcarbonat té com a principal avantatge el fet de no requerir ni Clor ni fòsfor com a matèries primes, però genera grans quantitats de fenol, el qual es recupera refredant la mescla producte i reciclant-lo pel seu ús en la síntesi del difenilcarbonat.

- Via difenilcarbonat i MMA (EniChemica i UCC): rutes alternatives possibles dins aquesta via.
  - Fosgenació del fenol.
  - Fenol + CO + CO<sub>2</sub>.

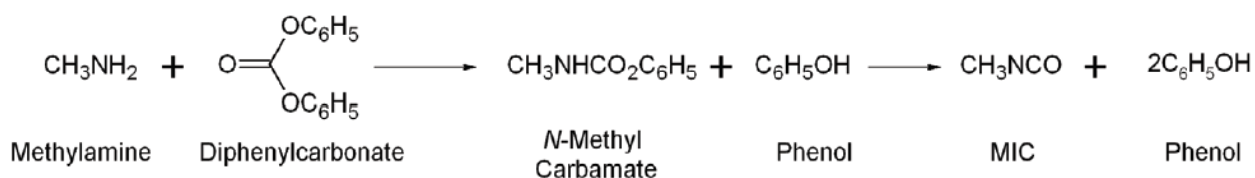
Correspon a una reacció amb la seqüència extracció-eliminació. Els dos reactius es mesclen i s'escalfen per formar N-metilcarbamat (també conegut com fenil-N-metiluretà) i fenol. L'escalfament posterior elimina el MIC del fenol, per refredar després la mescla i extreure el fenol i el N-metilcarbamat restant, permetent al MIC passar a una etapa de purificació.



**Enichem Process**  
via *N*-Methylcarbamate (NMC)

**Figura 1.2.1.2.2.** Diagrama de blocs del procés via difenilcarbonat i MMA (EniChem).

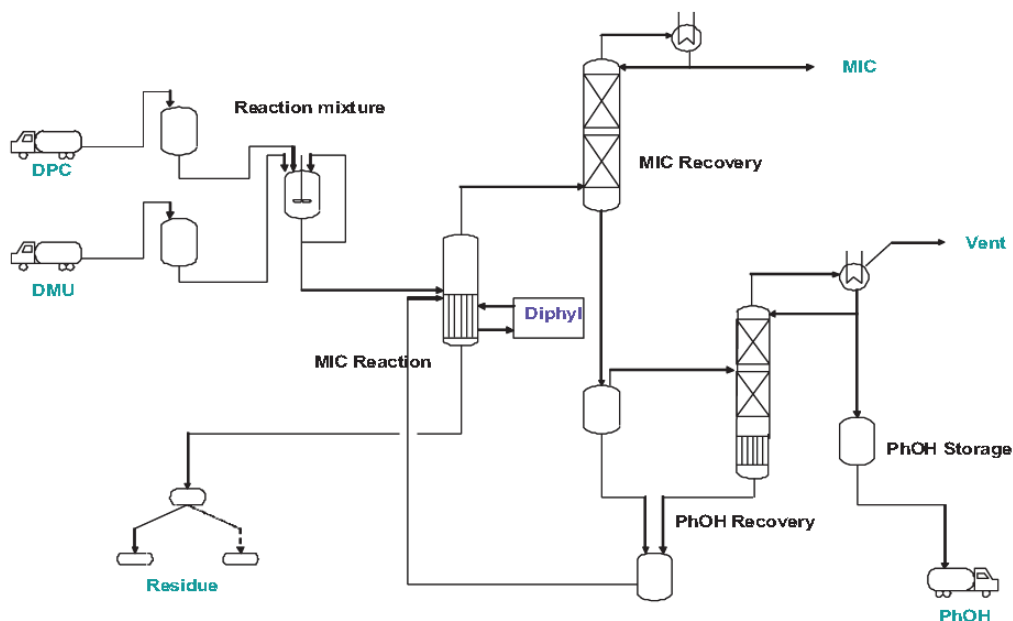
Com que el fenol és un coproducte de la reacció, s'haurà de o bé elimina apropiadament el fenol o bé reciclar-lo en el major grau de puresa possible per tornar-lo a utilitzar.



- **Avantatges:** no necessita ni clor ni foscè amb reducció de la capacitat d'emmagatzematge.
- **Inconvenients:** la qualitat del producte depèn de la puresa del MIC, fet que dificulta la posterior formulació del pesticida. Requereix de molta tecnologia. S'ha de reciclar el fenol (gran quantitat de fenol residual amb qualitat del efluent baixa).

b) Via difenilcarbonat i dimetilurea (Bayer):

Correspon al mètode emprat per l'empresa Bayer entre el 1971 fins al 2002 per produir MIC. La dimetilurea i el difenilcarbonat es combinen i s'escalfen per formar MIC i fenol per mitjà d'una seqüència de bescanvi-extracció-eliminació.



**Bayer Process**  
via Diphenylcarbonate (DPC) and Dimethylurea (DMU)

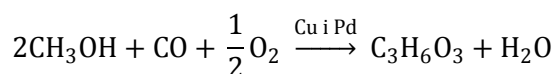
**Figura 1.2.1.2.3.** Diagrama de blocs del procés via difenilcarbonat i dimetilurea (Bayer).

- **Avantatges:** menor inversió que el procés d'EniChemica amb bona estabilitat química del difenilcarbonat. Els residus generats són menors respecte als produïts amb el procés d'EniChemica amb capacitats d'emmagatzematge més baixes.
- **Inconvenients:** elevada dependència del subministrament de matèries primes de la competència. Es manipulen altres productes tòxics com per exemple el fenol. La qualitat del producte es veu molt afectada per la presència d'impureses en el MIC. Requereix de molts equips amb forta tecnologia.

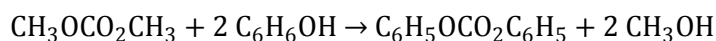
Actualment, les plantes de difenilcarbonat porten quasi 10 anys tancades, sense intenció de tornar a posar en marxa l'activitat en el futur.

Existeixen diversos mecanismes d'obtenció de difenilcarbonat, per després fer reaccionar aquest últim amb MMA i obtenir MIC.

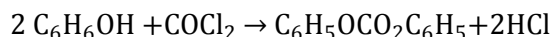
- 1- El primer pas és la obtenció de dimetilcarbonat per la posterior síntesi de difenilcarbonat:



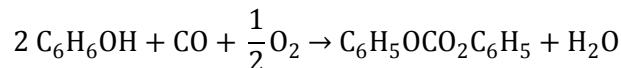
El difenilcarbonat prové de la transesterificació del dimetilcarbonat amb fenilacetat.



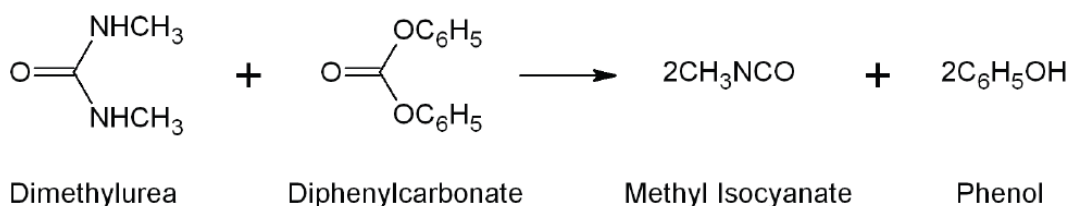
2- El difenilcarbonat també es pot obtenir de fer reaccionar fenol amb fosgè:



3- Alhora, el difenilcarbonat es pot obtenir també fent reaccionar fenol amb CO i O<sub>2</sub>:



El MIC es produeix finalment segons la següent reacció:



#### 1.2.1.2.2. Processos que utilitzen fosgè i MMA

- Procés de Union Carbide Corporation (UCC) a Institute, West Virginia:  
Correspon al procés escollit implementat a la planta de fabricació de SEVIN®. Les característiques pròpies d'aquest mètode s'inclouen a l'apartat 1.2.3, on es descriu de forma detallada el procés escollit.

Com a conclusió, la figura 1.2.1.2.4 mostra una comparació de les vies alternatives de producció de Carbaril que utilitzen MIC com a intermedi.

Process	UCC	DuPont	Cyanate	DPC/DMC	Enichem
Internal recycle streams	High	High	High, solvent reflux	Low	Very high
Per-unit operating cost	Low	Low	High	High	High
Waste and wastewater	Medium	Medium (cyanide)	High (cyanide?)	Low	Medium
License fee	No	Yes	Yes	No	Yes
Adaption of infrastructure	No	Yes	Yes	Yes	Yes
R&D required	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Registration required	No	Yes	Yes	Yes	Yes
Other factors		Catalyst exchange every 2 weeks	Batch process	External intermediate (dimethylurea)	
Raw material properties*	MMA (mono-methylamine) : F+, Xn CO:T Cl <sub>2</sub> : T, Phosgene: T+	CO:T MMA: F+, Xn	NaNCO:Xn Dimethyl sulfate: T+	Phenol: T, C	MMA: F+, Xn Phenol: T, C
Process complexity	Very High	High	Medium	Low	High
Experience	Mature	Mature	Mature	Mature	One Unit?

SOURCE: Adapted from Smythe, 2011. a: F – Very Flammable, F+ – Extremely Flammable, T – Toxic, T+ – Very Toxic, Xn – Harmful, C – Corrosive.

**Figura 1.2.1.2.4.** Comparació dels processos descrits que utilitzen MIC com a intermedi.

### 1.2.1.3. Llistat de patents d'empreses per a la producció de MIC

La taula 1.2.1.3.1 mostra el llistat d'empreses amb patents elaborades per a la producció de MIC i els compostos implicats en el procés de fabricació de MIC.

**Taula 1.2.1.3.1.** Empreses amb patents sobre la producció de MIC.

<b>Empresa</b>	<b>Descripció breu del procés d'obtenció de MIC</b>
<b>Philagro</b>	Fosgenació d'urees.
<b>Bayer, EniChemica</b>	Descomposició tèrmica d'esters àcids.
<b>Bayer</b>	Descomposició tèrmica d'urees trisubstituïdes.
<b>Agency of Industrial Science and Technology</b>	Descomposició tèrmica d'oxazolidones.
<b>BASF</b>	Descomposició tèrmica d'oxalamats.
<b>Bayer</b>	Descomposició tèrmica de N-acetil acetamides substituïdes.
<b>Bayer</b>	Descomposició tèrmica de dialquilmalonamides.
<b>BASF</b>	Descomposició tèrmica de N,N'-al·lofanats substituïts.
<b>Soviet publications</b>	Descomposició tèrmica d'intermedis organosiliconats.
<b>Vertac</b>	Descomposició tèrmica d'adductes Bor-MIC reversibles.
<b>DuPont</b>	Deshidrogenació de N-metilformamida.
<b>Degussa, FMC</b>	Metilació de cianats metàl·lics.
<b>USSR</b>	Reacció de clorur d'acetil i azida de sodi.
<b>Hungary</b>	Aminació de cloroformat.
<b>UCC</b>	Piròlisi d'aril N-metilcarbamat per obtenir MIC.

### 1.2.2. Procés escollit pel disseny de la planta

El procés escollit prové de les especificacions del projecte en quant a l'ús de foscè i MMA com a reactius, fet que implica el pas obligatori per MIC com a intermedi, amb la posterior producció de Carbaril com a producte final.

A grans trets, el procés consta de 4 etapes, esmentades de forma esquemàtica a continuació:

- 1- Reacció de formació de MCC a partir de MMA i foscè.
- 2- Reacció de piròlisi que descompon el MCC en MIC i clorur d'hidrogen.
- 3- Reacció de formació de Carbaril a partir de MIC i 1-Naftol.
- 4- Purificació del Carbaril produït per adequar-lo a la puresa requerida.

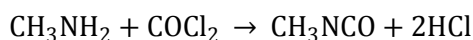
La única variació possible dins la imposició d'utilitzar foscè i MMA com a reactius, es dona en l'etapa de piròlisi on es poden fer servir diferents agents per descompondre el MCC en MIC i HCl (o tèrmicament per calor, o amb algun agent químic que provoqui aquesta dissociació, per exemple, piridina). Però degut a l'absència d'informació a escala industrial sobre l'ús d'agents químics per realitzar la piròlisi, s'ha optat per mantenir intacte el procés UCC, del qual s'ha trobat molta informació per implementar-lo.

Junt amb l'elevat grau d'informació, l'altre principal avantatge que presenta el procés UCC és el grau de puresa final aconseguit amb l'etapa de purificació (99,9%), amb pèrdues al balanç de matèria global (teòric) pràcticament nul·les.

### 1.2.3. Descripció detallada del procés via MCC i 1-naftol

El procés es divideix en les 4 parts esmentades a l'apartat anterior:

- 1- El MCC s'obté prèviament de fer reaccionar MMA amb Foscè en fase gas segons:

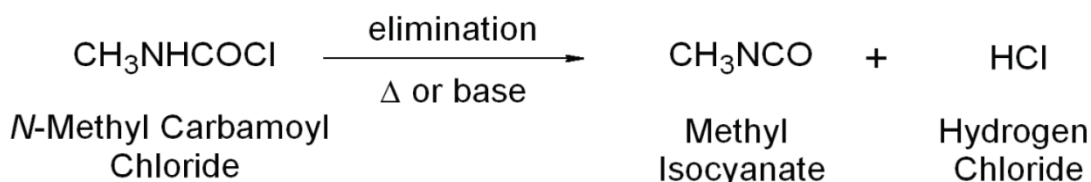


La generació de MCC succeeix a elevada temperatura i pressió baixa en un reactor que permet la ràpida reacció i conversió completa dels reactius en MCC. Aquesta reacció és elevadament exotèrmica amb una cinètica molt ràpida que proporciona una conversió quasi instantània.

Tant els reactius com els productes es mantenen al llarg de tota la reacció en fase gas. La temperatura d'operació del reactor de formació de MCC ha de ser igual o superior als 240°C per assolir el 100% de conversió de MMA en MCC. Pel mateix motiu, s'introdueix un excés de foscè del 25% respecte la relació molar MMA:Foscè. El temps de residència es troba dins el rang teòric de 0,67 a 2,5 segons, on el valor òptim dins l'interval segons les fonts bibliogràfiques correspon a 1,5 segons. La pressió d'operació és 1 atm.

El rendiment d'aquesta primera reacció s'aproxima al 100% degut a les condicions d'operació que garanteixen la total conversió dels reactius a MCC.

- 2- La síntesi de MIC mitjançant el mètode UCC es fa a partir de MCC, efectuant una piròlisi (equilibri termodinàmic desplaçat amb calor) que dissocia el MCC en MIC i clorur d'hidrogen (el qual s'extreu posteriorment) segons la següent reacció endotèrmica en fase gas:

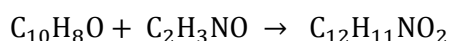


El MCC és dissolt en toluè i escalfat fins els 90°C, mantenint aquesta temperatura a 10 bars de pressió per portar a terme la descomposició del MCC, i que així el clorur d'hidrogen produït quedi dissolt en la fase líquida del toluè.

El MIC produït resulta d'extremada puresa (aproximadament 99,9%) i s'emmagatzema líquid fins passar a la zona de reacció amb 1-Naftol per formar Carbaril. Tant el producte gas i líquid resultant de la reacció de formació de MIC es porta a una columna de destil·lació a pressió, on són alimentats pel mateix plat. En la torre de destil·lació a pressió es separa el HCl (clorur d'hidrogen) de tota la resta de la mescla.

El rendiment de la reacció de piròlisi correspon a un 80% respecte el MCC subministrat.

- 3- Finalment, la reacció entre el MIC en excés amb 1-Naftol és la que proporciona el Carbaril segons la següent expressió química:



De nou, es dissolen els reactius i el producte en toluè tant per garantir la continuïtat de la reacció, com per evitar que la reïna de bescanvi iònic emprada com a catalitzador es dissolgui amb el pas del temps. La formació de Carbaril es dona en continu en un reactor de llit fix que opera 12 dies, seguit d'una parada de 3 dies per dissoldre l'acumulació de sòlids al reactor i regenerar la reïna aniònica.

El corrent d'entrada al reactor és en fase líquida per tal de que el contacte amb la reïna sigui més efectiu, fent que el reactor sigui bifàsic. La reacció és fortament exotèrmica fet que implica un bescanvi de calor important per tal d'intentar mantenir la temperatura al reactor constant i fer que aquest sigui isoterm.

El refrigerant ha de ser no aquós degut a la presència del MIC com a reactiu en el reactor, ja que en el cas de que estigués en contacte amb aigua, esdevindria a reaccions exotèrmiques no controlables, d'hidròlisi, donant lloc a productes com el 1,3-dimetilurea més diòxid de carboni en el cas d'excés d'aigua, o 1,3,5-trimetilbiuret més CO<sub>2</sub> en cas d'excés de MIC però també en presència d'aigua.

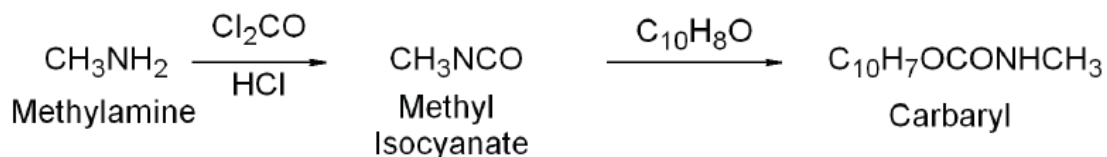
El reactor de formació de Carbaril opera a pressió atmosfèrica i a una temperatura de 93 °C, amb un rendiment global del 91,2% respecte al 1-Naftol introduït.

- 4- La purificació del Carbaril consta de dos cristal·litzadors en sèrie seguits d'una centrifugació, i aquest corrent va a un assecador amb un processador Holo-flite® posterior, d'on s'obté la major part de producte pur en forma d'una pols cristal·lina incolora.

A continuació, s'estableix un tanc mescla que proporciona les condicions adequades pel tercer cristal·litzador, la sortida del qual va a parar a dos dipòsits refrigerats per Chillers amb una recirculació interna entre ells.

Finalment, el corrent de la sortida dels dipòsits refredats s'envia a una segona centrífuga on el corrent concentrat és recirculat de nou al segon cristal·litzador i el corrent líquid té un tractament d'evaporació i condensació per recuperar el toluè.

Des del 1966, aquest mètode no ha patit pràcticament cap modificació en quant al mètode de producció de Carbaril, resumit en la següent reacció:



La figura 1.2.3.1 mostra el diagrama de blocs del procés emprat a Union Carbide Corporation.



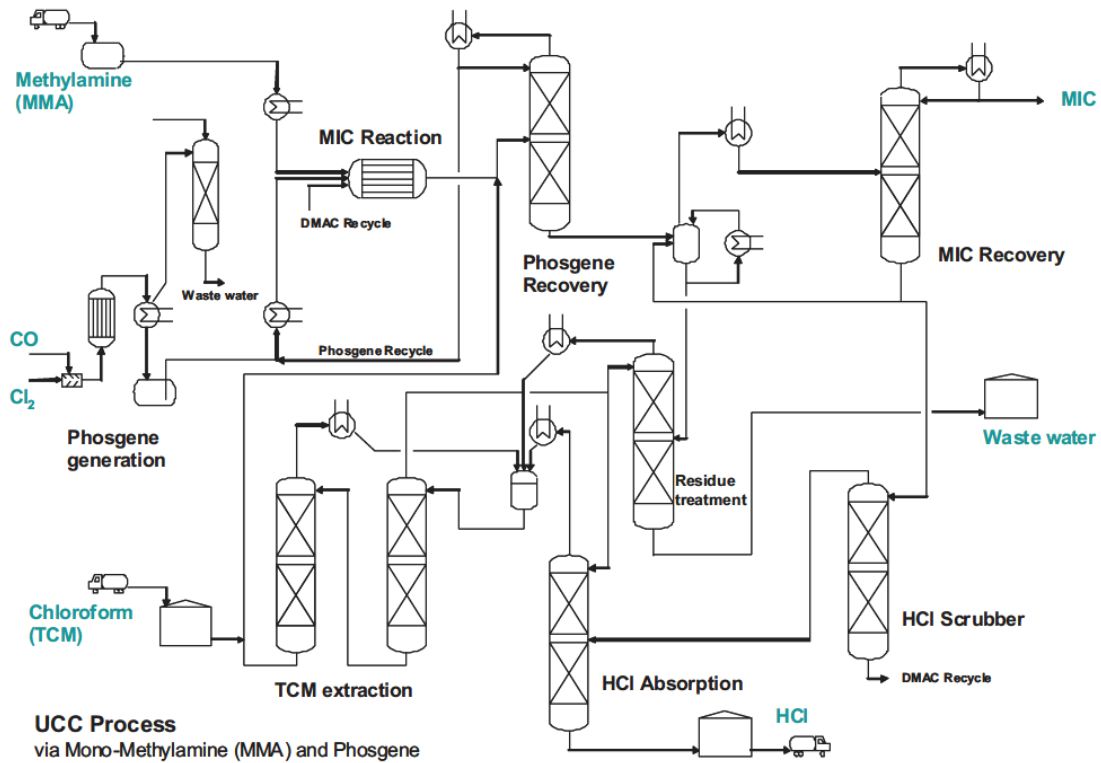
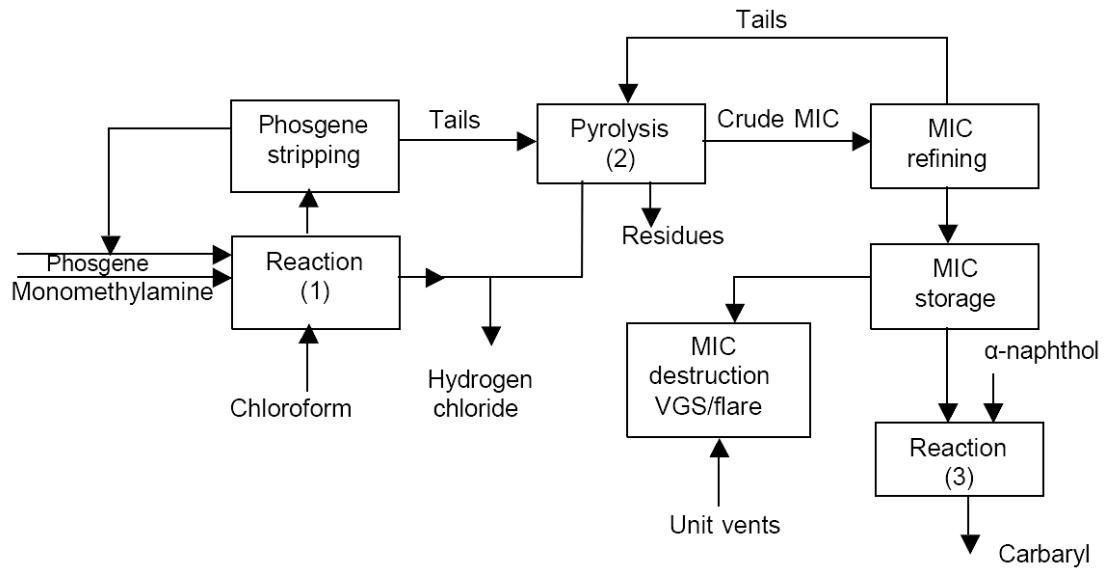


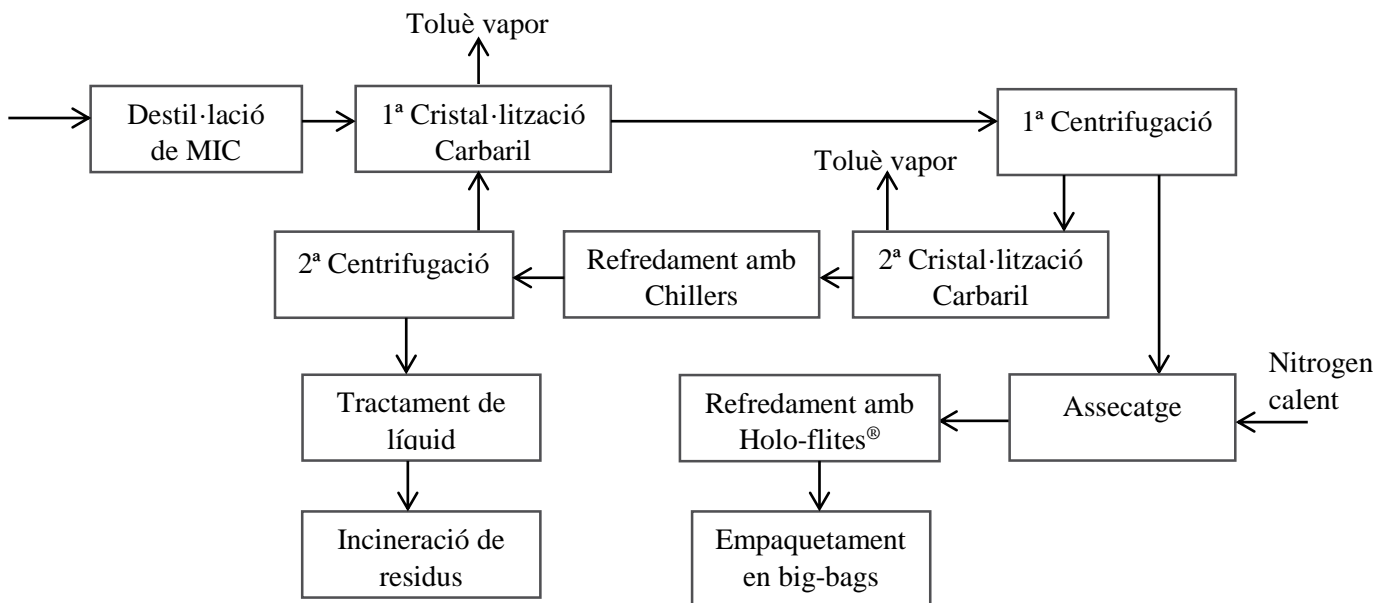
Figura 1.2.3.1. Diagrama de blocs del procés UCC.

#### 1.2.4. Diagrama de blocs del procés via MCC i 1-naftol

Les figures 1.2.4.1 i 1.2.4.2 mostren els diagrames de blocs del procés de fabricació de Carbaril i la posterior etapa de purificació d'aquest, respectivament.



**Figura 1.2.4.1.** Diagrama de blocs del procés de fabricació de Carbaril.



**Figura 1.2.4.2.** Diagrama de blocs de l'etapa de purificació del Carbaril.

### 1.2.5. Propietats fisicoquímiques dels reactius i productes del procés via MCC i 1-naftol

Les taules 1.2.5.1 a 1.2.5.13 recullen les propietats fisicoquímiques dels compostos involucrats en el procés de producció de Carbaril.

Les equacions [Eq. 1.2.5.1], [Eq. 1.2.5.2] i [Eq. 1.2.5.3] serveixen per calcular les propietats desglossades en diverses constants incloses a les taules de propietats.

$$\log(\mu) [mPa \cdot s] = VISA \cdot \left\{ \left( \frac{1}{T[K]} \right) \cdot \left( \frac{1}{VISB} \right) \right\} \quad [Eq. 1.2.5.1]$$

$$Cp \left[ \frac{J}{mol \cdot K} \right] = CPVAPA + CPVAPB \cdot T + CPVAPC \cdot T^2 + CPVAPD \cdot T^3 ; T[K] \quad [Eq. 1.2.5.1]$$

$$\ln(P_{vap}) [mmHg] = ANTA - \frac{ANTB}{T[K] + ANTC} \quad [Eq. 1.2.5.3]$$

**Taula 1.2.5.1.** Propietats fisicoquímiques de la monometilamina.

NOM	Metilamina(mono-)	
Fórmula molecular	CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub>	
Número CAS	74-820-0	
Pes molecular [g/mol]	31,058	
Punt de fusió [°C]	-93,5	
Punt de ebullició [°C]	-6,4	
Punt d'inflamació [°C]	-13	
Temperatura d'ignició [°C]	430	
Pressió de vapor a 20°C [hPa]	3000	
Densitat líquid a -14°C [kg/m <sup>3</sup> ]	703	
Calor de Vaporització [J/mol]	26	
Solubilitat en aigua 20°C [g/l]	1,08	
Temperatura crítica [°K]	430	
Pressió crítica [bar]	74,6	
Volum crític [m <sup>3</sup> /mol]	0,14	
Constants de viscositat	VISA	311,8
	VISB	176,3
Entalpia de formació de vapor [kJ/mol]	-23,03	
Energia de Gibbs de formació de vapor [kJ/mol]	32,28	
Constants de gas ideal per Cp	CPVAPA	11,5
	CPVAPB	0,143
	CPVAPC	-5,33·10 <sup>-5</sup>
	CPVAPD	4,75·10 <sup>-9</sup>
Constants per l'equació d'Antoine (de -61 a 38 °C)	ANTA	17,26
	ANTB	2484,83
	ANTC	-32,92
Volum molar líquid [m <sup>3</sup> /kmol]	0,044713	
Flash point [K]	2,73E+02	
Límits d'inflamabilitat [% Vol]	4,9-20,7	
Temperatura d'autoignició [K]	7,03E+02	

**Taula 1.2.5.2.** Propietats fisicoquímiques del fogsè.

NOM	Fogsè	
Fórmula molecular	COCl <sub>2</sub>	
Número CAS	75-44-5	
Pes molecular [g/mol]	98,916	
Punt de fusió [°C]	-128,2	
Punt de ebullició [°C]	7,5	
Pressió de vapor a 20°C [hPa]	1570	
Densitat líquid a 20°C [kg/m <sup>3</sup> ]	1361	
Calor de vaporització [J/mol]	24,409	
Solubilitat en aigua 20°C [g/l]	Poc o immiscible	
Temperatura crítica [°K]	455	
Pressió crítica [bar]	56,7	
Volum crític [m <sup>3</sup> /mol]	0,19	
Entalpia de formació de vapor [kJ/mol]	-221,06	
Energia de Gibbs de formació de vapor [kJ/mol]	-206,91	
Constants de gas ideal per Cp	CPVAPA	28,089
	CPVAPB	0,136
	CPVAPC	-1,37·10 <sup>-4</sup>
	CPVAPD	5,07·10 <sup>-8</sup>
Constants per l'equació d'Antoine (de -60 a 68 °C)	ANTA	17,77
	ANTB	2167,31
	ANTC	-43,15
Volum molar líquid [m <sup>3</sup> /kmol]	0,070547	

**Taula 1.2.5.3.** Propietats fisicoquímiques del clorur de metilcarbamil.

NOM	Clorur de metilcarbamil
Fórmula molecular	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> NOCl
Número CAS	6452-47-7
Pes molecular [g/mol]	93,51
Punt de fusió [°C]	45
Punt d'ebullició [°C]	93
Pressió de vapor a 20°C [hPa]	1570
Densitat del líquid [g/m <sup>3</sup> ]	1,185
Índex de refracció	1,415

**Taula 1.2.5.4.** Propietats fisicoquímiques de l'isocianat de metil.

NOM	Isocianat de metil	
Fórmula molecular	CH <sub>3</sub> NCO	
Número CAS	624-83-9	
Pes molecular [g/mol]	57,052	
Punt de fusió [°C]	19,5-21,5	
Punt de ebullició [°C]	38,8	
Punt d'inflamació [°C]	-6	
Pressió de vapor a 20°C [hPa]	513	
Densitat líquid a 20°C [kg/m <sup>3</sup> ]	958	
Calor de vaporització [J/mol]	29,601	
Solubilitat en aigua 20°C [g/l]	Molt poc o immiscible	
Temperatura crítica [°K]	491	
Pressió crítica [bar]	55,7	
Constants de viscositat	VISA	616,78
	VISB	227,47
Entalpia de formació de vapor [kJ/mol]	-90,02	
Constants de gas ideal per Cp	CPVAPA	35,764
	CPVAPB	0,104
	CPVAPC	-5,82·10 <sup>-6</sup>
	CPVAPD	-1,69·10 <sup>-8</sup>
Constants per l'equació d'Antoine (de -43 a 67 °C)	ANTA	16,33
	ANTB	2480,37
	ANTC	-56,31

**Taula 1.2.5.5.** Propietats fisicoquímiques del carbaril.

NOM	Carbaril
Fórmula molecular	C <sub>12</sub> H <sub>11</sub> NO <sub>2</sub>
Número CAS	63-25-2
Pes molecular [g/mol]	201,22
Aparença	Cristalls incoloros
Punt de fusió [°C]	142
Punt de ebullició [°C]	Descompon abans de bullir
Pressió de vapor a 26°C [hPa]	0,005
Densitat del sòlid [g/m <sup>3</sup> ]	1,23
Solubilitat en aigua 20°C [g/l]	0,12

**Taula 1.2.5.6.** Propietats fisicoquímiques del clorur d'hidrogen.

NOM	Clorur d'hidrogen	
Fórmula molecular	HCl	
Número CAS	7647-01-0	
Pes molecular [g/mol]	36,46	
Punt de fusió [°C]	-114,2	
Punt de ebullició [°C]	-85	
Pressió de vapor a 20°C [psig]	613	
Densitat del gas a 15 °C [g/m <sup>3</sup> ]	1,56	
Calor de vaporització [J/mol]	16,161	
Solubilitat en aigua 20°C [g/l]	720	
Volum específic [ft <sup>3</sup> /lb]	10,526	
Densitat gas [g/m <sup>3</sup> ]	0,095	
Temperatura crítica [°K]	324,6	
Pressió crítica [bar]	83,1	
Volum crític [m <sup>3</sup> /mol]	0,081	
Constants de viscositat	VISA	372,78
	VISB	277,74
Entalpia de formació de vapor [kJ/mol]	-92,36	
Energia de Gibbs de formació de vapor [kJ/mol]	-95,33	
Constants de gas ideal per Cp	CPVAPA	30,291
	CPVAPB	-7,10E-03
	CPVAPC	1,25E-05
	CPVAPD	-3,90E-09
Constants per l'equació d'Antoine (de -136 a -73 °C)	ANTA	16,50
	ANTB	1714,25
	ANTC	-14,45

**Taula 1.2.5.7.** Propietats fisicoquímiques del toluè.

NOM	Toluè	
Fórmula molecular	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	
Número CAS	108-88-3	
Pes molecular [g/mol]	92,141	
Punt de fusió [°C]	-95	
Punt de ebullició [°C]	110,6	
Punt d'inflamació [°C]	-6	
Temperatura d'ignició [°C]	535	
Pressió de vapor a 20°C [hPa]	29	
Densitat líquid a 20 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	867	
Calor de vaporització [J/mol]	33,201	
Solubilitat en aigua 20°C [g/l]	0,5	
Viscositat dinàmica a 20°C [mPa·s]	0,6	
Temperatura crítica [K]	591,7	
Pressió crítica [bar]	41,1	
Volum crític [m <sup>3</sup> /mol]	0,316	
Constants de viscositat	VISA	467,33
	VISB	255,24
Entalpia de formació de vapor [kJ/mol]	50,03	
Energia de Gibbs de formació de vapor [kJ/mol]	122,09	
Constants de gas ideal per Cp	CPVAPA	-24,355
	CPVAPB	5,12E-01
	CPVAPC	-2,77E-04
	CPVAPD	4,91E-08
Constants per l'equació d'Antoine (de 7 a 137 °C)	ANTA	16,01
	ANTB	3096,52
	ANTC	-53,67



**Taula 1.2.5.8.** Propietats fisicoquímiques del 1-naftol.

NOM	1-Naftol
Fórmula molecular	C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O
Número CAS	90-15-3
Pes molecular [g/mol]	144,17
Aparença	Sòlid blanc o incolor
Punt de fusió [°C]	97
Punt de ebullició [°C]	280
Punt d'inflamació [°C]	153
Pressió de vapor a 94°C [hPa]	1,33
Densitat del líquid a 20°C [g/m <sup>3</sup> ]	1,095
Solubilitat en agua 20°C [g/l]	0,1
Viscositat dinàmica a 20°C [mPa·s]	0,6

**Taula 1.2.5.9.** Propietats fisicoquímiques de l'àcid clorhídric al 37%.

NOM	Àcid clorhídric 37% p/p
Fórmula molecular	HCl
Número CAS	7647-01-0
Concentració [kg HCl/m <sup>3</sup> dissolució]	438,13
Molaritat [mol/dm <sup>3</sup> ]	12,02
Pes molecular [g/mol]	36,46
Punt de ebullició [°C]	54,5
pH a 20°C	< 1
Pressió de vapor a 20°C [hPa]	214
Densitat del líquid a 20 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	1,184
Viscositat dinàmica a 20°C [mPa·s]	2,05
Entalpia de formació de vapor [kJ/mol]	-92,31
Calor específic (kJ/(kg·K))	2,45

**Taula 1.2.5.9.** Propietats fisicoquímiques de les solucions aquoses d'hidròxid de sodi.

NOM	Hidròxid de sodi	
Percentatge en pes de NaOH	4% p/p	10-20% p/p
Fórmula molecular	NaOH	
Número CAS	1310-73-2	
Concentració [kg HCl/m <sup>3</sup> dissolució]	41,6	111-222
Molaritat [mol/dm <sup>3</sup> ]	1,04	2,775-5,55
Pes molecular [g/mol]	40	
Punt de ebullició [°C]	100	105-110
pH a 20°C	≈13,8	
Pressió de vapor a 20°C [hPa]	23	
Densitat del líquid a 20 °C [kg/m <sup>3</sup> ]	1,04	≈1,11
Viscositat dinàmica a 20°C [mPa·s]	1,31	1,86-4,43
Entalpia de formació de vapor [kJ/mol]	≈-469,15	
Calor específic (kJ/(kg·°C))	3,969	3,772-3,613

**Taula 1.2.5.11.** Propietats fisicoquímiques del nitrogen gas.

NOM	Nitrogen	
Fórmula molecular	N <sub>2</sub>	
Número CAS	7727-37-9	
Pes molecular [g/mol]	28,013	
Punt de fusió [°C]	-209,9	
Punt d'ebullició [°C]	-195,8	
Pressió de vapor a 20°C [psig]	29	
Densitat del vapor [g/m <sup>3</sup> ]	0,97	
Densitat del líquid a -195°C [kg/m <sup>3</sup> ]	805	
Calor de vaporització [J/mol]	5581	
Solubilitat en agua 20°C [g/l]	Lleugerament	
Temperatura Crítica [°K]	126,2	
Pressió Crítica [bar]	33,9	
Volum Crític [m <sup>3</sup> /mol]	0,09	
Constants de viscositat	VISA	90,3
	VISB	46,14
Constants de gas ideal per Cp	CPVAPA	31,15
	CPVAPB	-1,36E-02
	CPVAPC	2,68E-05
	CPVAPD	-1,17E-08
Constants per l'equació d'Antoine (de -219 a -183 °C)	ANTA	14,95
	ANTB	588,72
	ANTC	-6,60

**Taula 1.2.5.12.** Propietats fisicoquímiques de la reïna de bescanvi iònic.

<b>NOM</b>	<b>Amberlita</b>
Número CAS	52439-77-7
Forma iònica	Base lliure
Concentració centres actius [eq/kg]	>1,3
Concentració centres actius [eq/L]	>4,6
Capacitat retenció humitat [%]	56-62
Mesura mitja harmònica [mm]	0,49-0,69
Coefficient d'uniformitat	<1,8
Gruix dels grànuls [mm]	>1,18
Àrea superficial [m <sup>2</sup> /g]	35
Diàmetre de porus (Å)	110
Volum dels porus totals [cm <sup>3</sup> /g]	0,1

**Taula 1.2.5.13.** Propietats fisicoquímiques de l'oli tèrmic Dowtherm J.

<b>NOM</b>	<b>Dowtherm J</b>
Composició	Mescla d'isòmers d'aromàtics alquilats
Punt de congelació [°C]	<-81
Punt d'ebullició [°C]	181
Punt d'inflamació [°C]	57
Punt d'ignició [°C]	60
Punt d'autoinflamació [°C]	420
Densitat a 25°C [kg/m <sup>3</sup> ]	860
Temperatura crítica [°C]	383
Pressió crítica [bar]	28,4
Volum crític [L/kg]	3,65
Pes molecular promig [g/mol]	134
Calor de combustió [kJ/kg]	41400

### 1.2.6. Aplicacions del Carbaril

El Carbaril és un pesticida de la família dels carbamats que elimina pràcticament qualsevol insecte que entri en contacte amb ell, emprat en una gran varietat de situacions (tant comercials com domèstiques) pel control de plagues com poden ser: escarabats, grills, puces, paparres i arnes. La producció de Carbaril resulta molt variable degut a l'estacionalitat que implica l'ús de pesticides en les seves aplicacions, pel que a les plantes de fabricació d'aquest carbamat s'ha de mantenir sempre un estoc constant per fer front a possibles demandes inesperades.

Aquest pesticida té una toxicitat moderada per mamífers i és comunament usat en agricultura i a nivell residencial. La seva toxicitat per la vida aquàtica és elevada, pel que s'ha de procurar evitar alliberaments al medi ambient.

Bioquímicament parlant, el Carbaril com a insecticida actua com a inhibidor reversible de l'enzim acetilcolinesterasa. L'insecticida produeix una hidròlisi molt lenta de l'enzim, afectant al sistema nerviós colinèrgic causant la mort degut al mal funcionament del neurotransmissor acetilcolina. Es troba classificat com a un carcinogen humà per la organització de la EPA als Estats Units.

L'avantatge del Carbaril front als pesticides clorats és que no persisteixen tant com aquests últims, tot i que no és selectiu front a insectes perjudicials i/o benefactors (com poden ser les abelles), així com amb els crustacis.

A la vegada, el Carbaril és processat i eliminat ràpidament pels vertebrats, mentre que pels insectes resulta extremadament tòxic. No es concentra ni en els greixos ni en la llet, pel que resulta apte per ús en collites.

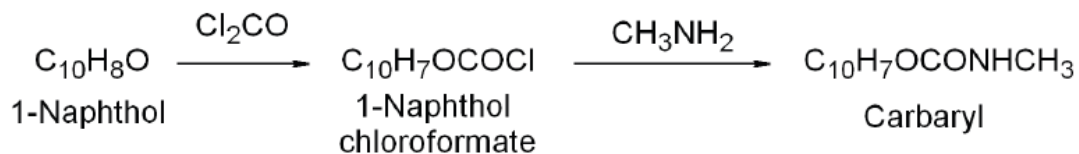
També existeix el xampú Carylterm que té com a ingredient actiu Carbaril per combatre els polls fins la seva extinció.

S'ha arribat a emprar en més de 100 tipus de collites als Estats Units, però avui en dia és un producte prohibit a diversos països arran del món.

### 1.2.7. Evolució del mercat

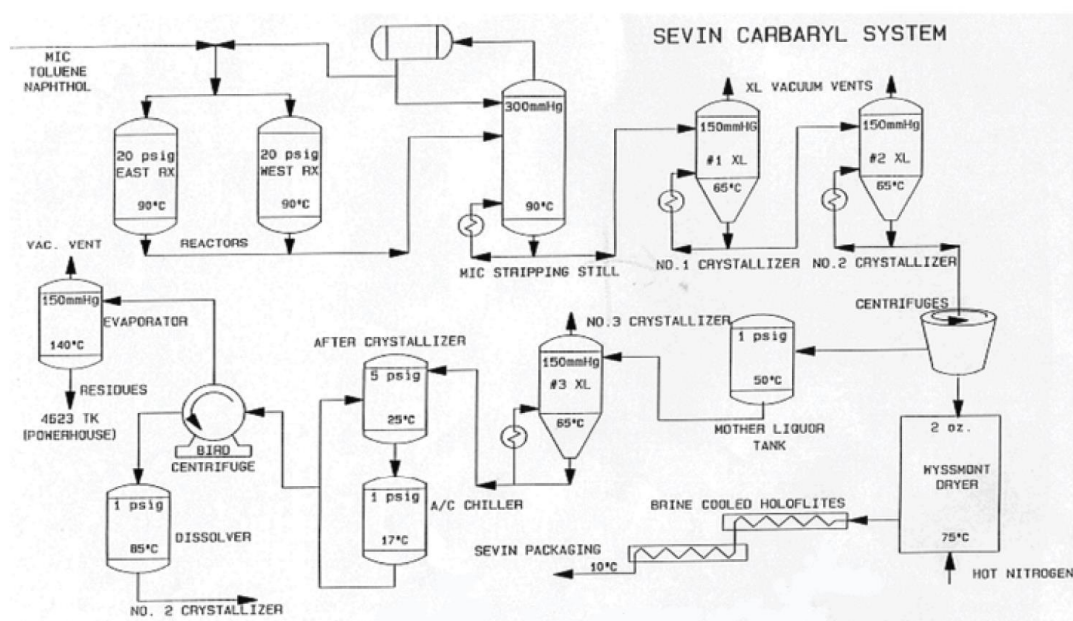
La producció de Carbaril va començar a la dècada dels anys 60, pensada per utilitzar el producte a altres instal·lacions o ser venut, i no per utilitzar-lo in situ als voltants de la planta de producció.

Inicialment (1958-1977), el Carbaril es produïa sense MIC com a intermedi, fent reaccionar 1-Naftol amb fosgè per donar lloc al 1-Naftol cloroformat. El producte obtingut, es feia reaccionar amb MMA per donar lloc al Carbaril segons la següent reacció:



El mètode de producció del Carbaril va canviar al 1978 per utilitzar MIC com a reactiu en comptes de naftilcloroformat (NCF), degut a l'elevada corrosió, el rendiment baix i l'elevada generació de residus que implicava l'ús del procés cloroformat.

La figura 1.2.7.1 mostra l'etapa de purificació afegida al procés de producció de Carbaril junt amb l'ús de MIC com a reactiu.



**Figura 1.2.7.1.** Etapa de purificació en el procés de producció de Carbaril.

El canvi va proporcionar un augment del rendiment des del 86 fins al 92% respecte la quantitat de 1-Naftol utilitzada amb una puresa del 99%. En aquest moment, la producció de MIC era de 18100 Tn/any.

Des de finals del 70 fins al 2008, la producció de MIC va baixar fins a 4540 Tn/any (4 cops menys que al 1978).

A meitat dels anys 80, l'emmagatzematge de MIC es va reduir en un 80% a les plantes de producció de Carbaril degut a l'incident de Bhopal, fent que la producció es veiés reduïda de forma considerable.

Cap al 1993, la demanda de MIC va baixar molt, fent que les capacitats de les plantes de fabricació de Carbaril anessin baixant de mica en mica la seva producció.

Al 2008, la planta de Institute (West Virginia, USA), era l'única planta dels Estats Units que produïa, emmagatzemava i consumia grans quantitats de MIC i al 2011, Bayer CropScience, propietari de la planta va decidir tancar totes les instal·lacions de producció de Carbaril a Institute.

### 1.2.8. Producció mundial de Carbaril

Des del desastre mundial de l'accident ocorregut a Bhopal (Índia) on 12.000 persones van perdre la vida, i més de 600.000 van ser afectades per una fuga de 42 tones de metil isocianat (producte extremadament irritant que va causar asfíxia i ceguera gairebé instantània a la població dels barris pobres al voltant de la planta de Union Carbide), la producció mundial de Carbaril va decaure en picat. L'incident de Bhopal va marcar clarament un abans i un després en quant a seguretat integral i consciència sobre els perills relacionats amb les substàncies químiques, pel que des de llavors la manipulació de compostos com el fòsgè, el metil isocianat o el Carbaril han deixat de ser viables tant econòmicament com social i medi ambientally.

Avui en dia ja no hi ha plantes químiques que produeixin Carbaril a Europa degut a la seva extremada perillositat (en especial dels compostos usats per a la seva fabricació), i des del 1994 l'ús del Carbaril està prohibit a Alemanya.

Segons fonts bibliogràfiques, la producció de Carbaril els anys 1971 (*Ullmann*) i 1989 (*Koch*) fou de 25000 tones i entre 1000 i 1500, respectivament, mentre que al 2011 es va tancar la última planta productora de MIC que permetia la fabricació de Carbaril. Aquestes dades, reforcen l'assumpció de que ja no hi hagi producció de Carbaril tant a Europa com a Amèrica, com a conseqüència dels nombrosos estudis de toxicitat humana i animal realitzats a partir de l'accident de Bhopal, que dificulten tant el disseny com la operació segura del procés de producció, així com el subministrament, la venda i l'aplicació del pesticida.

Tot i així, segons les fonts bibliogràfiques que descriuen el procés Cianat, alguns països asiàtics segueixen produint MIC mitjançant aquest procés avui en dia.

### 1.2.9. Àcid clorhídric amb concentració del 37% en pes com a subproducte

La fabricació de Carbaril dona com a subproducte clorur d'hidrogen, el qual es fa passar per una torre d'absorció amb aigua per produir àcid clorhídric amb una concentració en pes comercial, que permeti vendre'l a l'engròs a altres empreses. L'àcid clorhídric és un líquid transparent o lleugerament groc amb un gran poder àcid i corrosiu.

Les aplicacions més típiques de l'àcid clorhídric són degudes a les seves propietats d'àcid fort com a desincrustant per eliminar restes de calç o altres tipus de brutícia. En metal·lúrgia/siderúrgia s'usa per dissoldre les capes d'òxid que es formen recobrint els metalls (decapant o desoxidant), prèviament a la realització de processos de galvanitzats, extrusió o altres tècniques. L'àcid clorhídric reacciona amb els metalls actius o amb les sals d'àcids més febles per formar clorurs. Alhora, l'àcid clorhídric també participa en l'elaboració de PVC, en processos d'estampat a la indústria tèxtil i en la neutralització de lleixius en la indústria del sabó.

També s'empra en la síntesi de clorurs orgànics en química orgànica o com a producte de partida en la síntesi del policlorur d'alumini o el clorur fèrric ( $\text{FeCl}_3$ ), però una de les aplicacions més importants correspon al seu ús com a regenerador de reines de bescanvi catiònic, eliminant els cations  $\text{Na}^+$  i  $\text{Ca}^{2+}$  de solucions aquoses per produir aigua desmineralitzada.

Altres aplicacions es troben presents a la indústria alimentària per la producció de gelatines, a la indústria petrolera, la paperera, en la construcció i en la fabricació d'agroquímics, productes veterinaris i farmacèutics.

### 1.3. Constitució de la planta

#### 1.3.1. Àrees

Taula 1.3.1.1. Àrees de la planta de fabricació de SEVIN®.

Àrees general	Funció	Àrees específiques	Descripció
A-100	Emmagatzematge de reactius	A-100a	Emmagatzematge MMA
		A-100b	Emmagatzematge Fosgè
		A-100c	Emmagatzematge Toluè i NA
		A-100d	Emmagatzematge MIC
A-200	Producció	A-200a	Producció de MCC
		A-200b	Concentració de MCC
		A-200c	Producció de MIC
		A-200d	Producció de Carbaril
A-300	Purificació producte i formulació subproducte	A-300a	Purificació Carbaril
		A-300b	Recuperació del Carbaril
		A-300c	Formulació AC
A-400	Emmagatzematge productes	A-400a	Emmagatzematge Carbaril
		A-400b	Emmagatzematge AC
A-500			Serveis
A-600	Tractament d'efluents i residus	A-600a	Bassa de residus
		A-600b	Tractament de gasos
A-700	Càrrega i descàrrega	A-700a	Descàrrega de reactius
		A-700b	Càrrega de productes
		A-700c	Càrrega de residus
A-800			Laboratoris
A-900			Oficines
A-1000			Sales de control
A-1100			Vestuaris i menjadors
A-1200			Estació transformadora
A-1300			Pàrquing

- **Àrea 100:** correspon a l'àrea d'emmagatzematge de matèries primes com a reactius. Es divideix en 4 subàrees diferenciades segons la substància que es trobi emmagatzemada als diversos tancs. A continuació es concreta el nombre de tancs presents a cada subàrea dins l'àrea A-100:
  - A-100a: aquesta subàrea inclou 2 tancs d'emmagatzematge de MMA enterrats sota terra, junt amb un tub capil·lar on es dona l'evaporació de la MMA de camí al reactor R-201.
  - A-100b: conté 3 tancs de fosgè enterrats sota terra i el tub capil·lar corresponent per a l'evaporació del fosgè abans d'entrar al reactor R-201.



- A-100c: en aquesta àrea s'emmagatzema el MIC en 1 dipòsit enterrat sota terra continu on es realitza el control de qualitat del reactiu i proporciona l'aliment en als reactors R-203 i R-204 (alternativament). El dipòsit tindrà connectat el seu propi bescanviador de carcassa i tubs per mantenir la temperatura a -5 °C.
- A-100d: inclou 4 tancs d'emmagatzematge de toluè, 1 tanc d'emmagatzematge de NaOH amb concentració al 10-20% en pes i 1 tanc d'emmagatzematge de NaOH amb concentració al 4% en pes. En aquesta àrea també es trobaran els big-bags de naftol, en concret n'hi haurà 71 big-bags constantment emmagatzemats.
  
- **Àrea 200:** correspon a l'àrea de producció on es transformen els diferents reactius en productes i/o intermedis. Les subàrees en les que es divideix aquesta àrea són les següents:
  - A-200a: és on es dona la producció de MCC. Constarà d'un evaporador de foscè, dos bescanviadors de carcassa i tubs per escalfar el foscè i la MMA respectivament, el reactor R-201 de formació de MCC i un bescanviador de carcassa i tubs que refreda el toluè d'entrada a la columna d'absorció CA-201 també present en aquesta àrea.
  - A-200b: aquí es dona la concentració de MCC. Inclourà 6 dipòsits pulmó, 3 columnes de destil·lació, 6 condensadors, 5 calderins i un bescanviador de calor.
  - A-200c: en aquest punt es produeix MIC. Consta del reactor R-202, 2 condensadors, 2 dipòsits pulmó, 1 columna de destil·lació, 1 calderí i 1 bescanviador de calor.
  - A-200d: en aquesta subàrea es produeix Carbaril. Consta d'un desempaquetador de big-bags, un cargol dosificador, 2 dipòsits pulmó, 5 dipòsits de mescla, els reactors R-203 i R-204 i un condensador de toluè.
  
- **Àrea 300:** és on es donen la purificació i recuperació del Carbaril i la formulació de l'àcid clorhídric.
  - A-300a: en aquest punt es dona la purificació del Carbaril. Consta de 4 dipòsits pulmó, una columna de destil·lació, 3 condensadors, 1 calderí, 2 cristal·litzadors DTB, 1 centrífuga filtrant continua, 1 assecador Wyssmont i un refredador de sòlids Holo-flite®.
  - A-300b: aquí succeeix la recuperació del Carbaril. Inclou 2 dipòsits de mescla, 1 cristal·litzador DTB, 1 bescanviador de calor, 4 condensadors, 2 dipòsits pulmó, 2 dipòsits refredats per Chiller, 1 centrífuga decantadora continua i 1 evaporador.
  - A-300c: on es dona la formulació de l'àcid clorhídric. Consta de 2 columnes d'absorció funcionant de forma alternativa i un dipòsit pulmó per l'àcid clorhídric produït.

- **Àrea 400:** correspon a l'àrea d'emmagatzematge de productes obtinguts al llarg del procés.
  - A-400a: és on s'emmagatzema el Carbaril en 3 sitges i 82 big-bags. També constarà de 2 empaquetadors de big-bags.
  - A-400b: s'emmagatzema l'àcid clorhídric amb concentració al 37% en pes obtingut com a subproducte en 3 tancs d'emmagatzematge.
  
- **Àrea 500:** en aquesta àrea es troben els serveis d'escalfament i refredament necessaris a la planta.
  - A-500a: inclou els serveis d'escalfament.
  - A-500b: inclou els serveis de refredament.
  
- **Àrea 600:** en aquest punt es realitzen els tractaments d'efluents i residus.
  - A-600a: és on es troba la bassa de residus.
  - A-600b: aquí es realitzen els tractaments de gasos. Inclou un dipòsit pulmó, un depurador (scrubber) i una torxa.
  
- **Àrea 700:** en aquesta àrea es carreguen i descarreguen els compostos químics a manipular durant el procés de producció de Carbaril.
  - A-700a: aquí es descarreguen els reactius. Constarà d'una bàscula de camions per poder fer la descàrrega.
  - A-700b: és on es carreguen els productes. De igual forma, constarà d'una bàscula de camions on es pugui mesurar la càrrega (en total es posaran 2 bàscules a l'àrea 700).
  - A-700c: en aquest punt es carreguen els residus. També necessitarà una bàscula de camions que determini la càrrega de residus en tot moment.
  
- **Àrea 800:** l'àrea de laboratoris té com a objectiu prendre mostres (als dipòsits de MIC especialment) per garantir la qualitat i les especificacions de puresa desitjades en el producte final. Alhora, s'haurà de tindre un departament de R+I+D on es desenvolupin millores que permetin mantenir la competitivitat de la planta al llarg del temps.
  
- **Àrea 900:** correspon a l'àrea on es gestionarà tota la documentació i organització de la planta de producció de Carbaril. Constarà de despatxos, sales de reunions i sales d'actes entre d'altres.

- **Àrea 1000:** a les sales de control es disposarà de personal treballador les 24 hores del dia, per monitoritzar els paràmetres de la planta i assegurar el correcte funcionament de cadascuna de les àrees en les quals es divideix.
- **Àrea 1100:** correspondrà a un espai lúdic reservat pels treballadors i operaris de la planta, on podran descansar, menjar i canviar-se de roba al llarg de la jornada.
- **Àrea 1200:** aquí es trobarà l'estació transformadora que permetrà la conversió de la corrent d'arribada de 20 kV a 420 V per l'alimentació dels diversos equips de la planta.
- **Àrea 1300:** aquesta àrea servirà per aparcar els vehicles de treballadors, comercials i visites, així com motocicletes. Hi haurà una zona reservada per vehicles amb persones minusvàlides o amb mobilitat reduïda que es trobarà el més a prop possible de l'entrada a la planta.

### 1.3.2. Balanç de matèria

Les taules següents corresponen al balanç de matèria global amb el cabal nominal d'operació a la planta de fabricació de SEVIN®. Per cada corrent de procés, s'especifiquen les següents característiques o propietats:

- Cabal màssic.
- Cabal molar.
- Cabal volumètric.
- Pressió.
- Temperatura.
- Densitat.
- Estat físic.



















	281		282		283		284		285		286	
<b>Temperatura</b>	5		25		25		25		25		25	
<b>Pressió (bar)</b>	1,013		1,013		1,013		1,013		1,013		1,013	
<b>Estat (G,L,S)</b>	G		L		L		L		L		L	
<b>Viscositat (cp)</b>	0,013		1,9		1,9		1,9		0,59		1,9	
<b>Densitat (Kg/m3)</b>	1,6		1181,0		1181,0		1181,0		829,4		1184,0	
	Kg/h	Kmol/h	Kg/h	Kmol/h	Kg/h	Kmol/h	Kg/h	Kmol/h	Kg/h	Kmol/h	Kg/h	Kmol/h
<b>Cabal</b>	529,4	5,7	5654,3	61,4	5654,3	61,4	5654,3	61,4	10,1	0,1	1403,5	15,2
<b>Toluè</b>	10,1	0,1	40,2	0,4	40,2	0,4	40,2	0,4	10,1	0,1	0,0	0,0
<b>HCl</b>	519,3	5,6	2077,2	22,5	2077,2	22,5	2077,2	22,5	0,0	0,0	519,3	5,6
<b>Fosgè</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>MCC</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>MIC</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Carbaril</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>1-Naftol</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>MMA</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>H2O</b>	0,0	0,0	3536,9	38,4	3536,9	38,4	3536,9	38,4	0,0	0,0	884,2	9,6

### 1.3.3. Planificació temporal

Qualsevol projecte d'enginyeria química haurà de disposar d'una planificació temporal, primer per les fases de disseny, i posteriorment per les etapes de construcció, que determinaran la data d'inici de l'activitat de la planta. En funció de la naturalesa, dificultat i cost de les activitats a realitzar al llarg del disseny i construcció de la planta, es determina el camí crític d'activitats, minimitzant primer el cost econòmic i després la duració total de la planificació.

En la determinació del camí crític s'haurà de tindre en compte l'ordre de prioritats de les activitats, persones alienes o tercers que puguin enrederir les activitats del camí crític, entre altres factors que s'escapen del control propi.

- Planificació temporal del disseny de la planta: les taules 1.3.3.1 i 1.3.3.2 mostren la ordenació, inici i duració de les tasques pel disseny de la planta, junt amb el diagrama de Gantt d'aquestes activitats.

**Taula 1.3.3.1.** Inici i duració de les tasques pel disseny de la planta.

TASCA	INICI (total 114 dies)	DURACIÓ (dies)	DATA
Recerca d'informació	1	21	17/2-9/3
Elecció i determinació del procés	8	21	24/2-16/3
Diagrama de blocs	8	7	24/2-2/3
Redacció especificacions del projecte	8	35	24/2-30/3
Balanç de matèria	15	14	3/3-16/3
Balanç d'energia	15	14	3/3-16/3
Diagrama de procés	22	21	10/3-30/3
Disseny d'equips	29	25	17/3-20/4
Redacció equips i full d'especificacions	36	28	24/3-20/4
Determinació de vàlvules i canonades	36	28	24/3-20/4
Disseny sistemes de control	50	21	7/4-27/4
Redacció sistemes de control i fulls d'especificacions	50	21	7/4-27/4
Diagrama d'enginyeria	71	21	28/4-18/5
Diagrama (Lay Out)	71	21	28/4-18/5
Seguretat i Higiene	29	56	17/3-11/5
Medi Ambient	29	56	17/3-11/5
Avaluació econòmica	85	14	12/5-25/5
Posada en marxa de la planta	85	14	12/5-25/5
Operació de la planta	92	14	19/5-1/6
Manual de càlcul	36	49	24/3-11/5
Revisió del format i continguts	106	7	2/6-8/6
Bibliografia i agraïments	106	7	2/6-8/6
Impressió i gravació	113	7	9/6-10/6

TASQUES A REALITZAR	TEMPS (setmanes)																	
	17-2	24-2	3-3	10-3	17-3	24-3	31-3	7-4	14-4	21-4	28-4	5-5	12-5	19-5	26-5	2-6	9-6	
Recerca d'informació	█																	
Elecció i determinació del procés		█																
Diagrama de blocs		█																
Redacció especificacions del projecte		█																
Balanç de matèria			█															
Balanç d'energia			█															
Diagrama de procés				█														
Disseny d'equips					█													
Redacció equips i full d'especificacions						█												
Determinació de vàlvules i canonades						█												
Disseny sistemes de control								█										
Redacció sistemes de control i fulls d'especificacions								█										
Diagrama d'enginyeria											█							
Diagrama (Lay Out)											█							
Seguretat i Higiene					█													
Medi Ambient					█													
Avaluació econòmica												█						
Posada en marxa de la planta													█					
Operació de la planta														█				
Manual de càlcul						█												
Revisió del format i continguts																█		
Bibliografia i agraïments																█		
Impressió i gravació																	█	

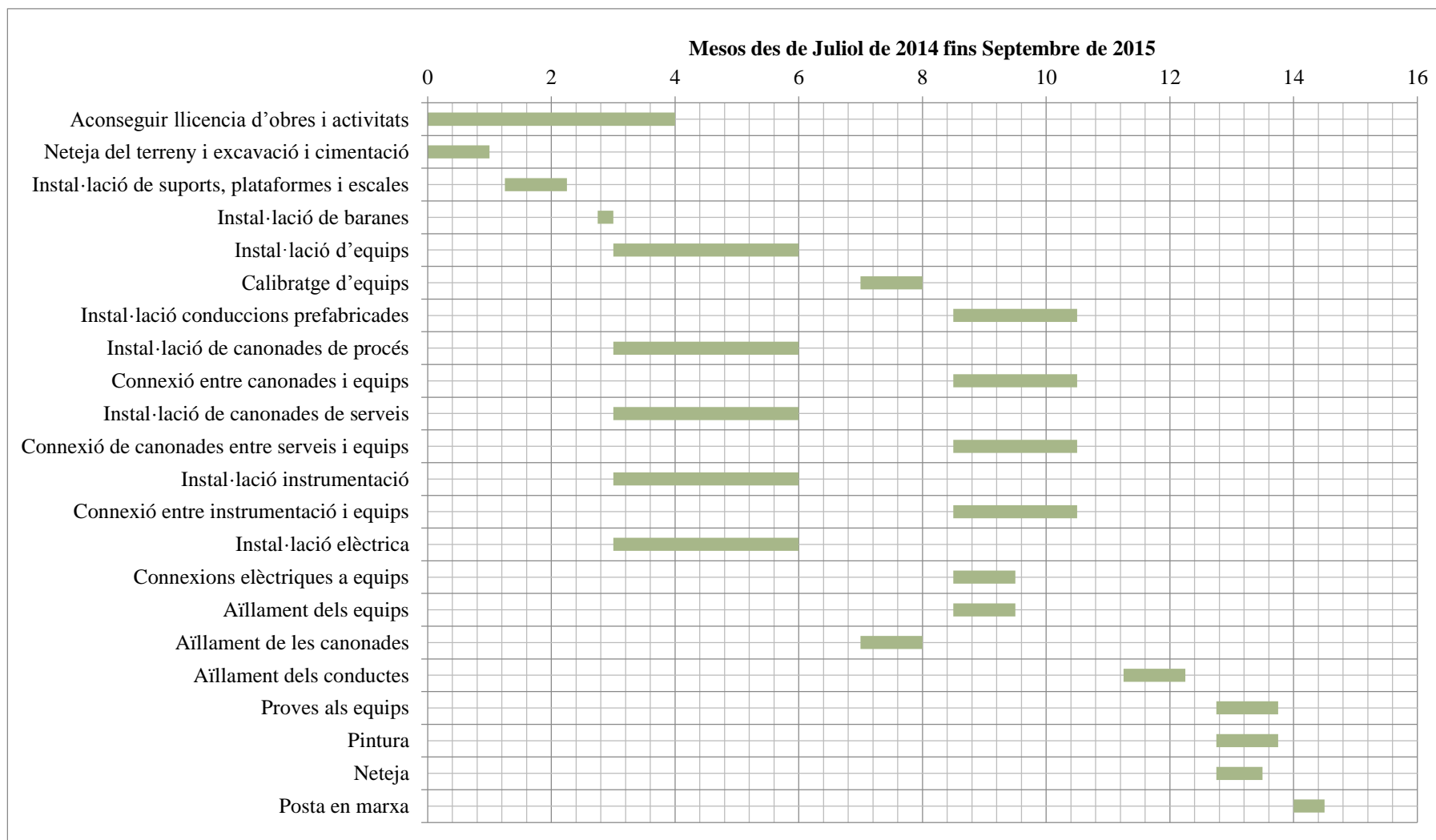
Taula 1.3.3.2. Diagrama de Gantt de la cronologia temporal del disseny de la planta.

- Planificació temporal de la construcció: a la taula 1.3.3.3 es mostra la planificació temporal de la construcció amb totes les activitats i la duració de cadascuna d'elles. En aquest cas no es poden incloure les dates d'inici i fi de les activitats de construcció ja que al ser la planta fictícia hi ha massa indeterminació. La taula 1.3.3.4 mostra el diagrama de Gantt de les activitats de construcció de la planta KILVERMIN.

**Taula 1.3.3.3.** Inici i duració de les activitats de construcció de la planta.

<b>ACTIVITATS A REALITZAR</b>	<b>PRECEDENT</b>	<b>INICI (mesos)</b>	<b>DURADA (mesos)</b>
Aconseguir llicència d'obres i activitats	0:1	0	4
Neteja del terreny i excavació i cimentació	1:2	0	1
Instal·lació de suports, plataformes i escales	2:3	1,25	1
Instal·lació de baranes	3:4	2,75	0,25
Instal·lació d'equips	3,4:5	3	3
Calibratge d'equips	5:6	7	1
Instal·lació conduccions prefabricades	6:7	8,5	2
Instal·lació de canonades de procés	3,4:8	3	3
Connexió entre canonades i equips	6,8:9	8,5	2
Instal·lació de canonades de serveis	3,4:10	3	3
Connexió de canonades entre serveis i equips	6,10:11	8,5	2
Instal·lació instrumentació	3,4:12	3	3
Connexió entre instrumentació i equips	6,12:13	8,5	2
Instal·lació elèctrica	3,4:14	3	3
Connexions elèctriques a equips	6,14:15	8,5	1
Aïllament dels equips	6:16	8,5	1
Aïllament de les canonades	8:17	7	1
Aïllament dels conductes	7:18	11,25	1
Proves als equips	1-18:19	12,75	1
Pintura	1-18:20	12,75	1
Neteja	1-18:21	12,75	0,75
Posta en marxa	1-21:22	14	0,5





**Taula 1.3.3.4.** Diagrama de Gantt de la cronologia temporal de la construcció de la planta.



#### 13.3.4. Plantilla treballadors

La planta de fabricació de SEVIN® treballarà 300 dies a l'any les 24 hores del dia, realitzant 3 torns de 8 hores per cada grup de treballadors, fent un total de 7200 hores totals treballades a l'any.

Es faran dues parades anuals per manteniment i neteja de la planta de producció de Carbaril:

- 1- A principis d'any (voltants de Gener).
- 2- Abans de les vacances d'estiu (voltants de Juliol).

Com es disposen de 65 dies en què es pot parar la producció, es distribuiran de forma equitativa el nombre de dies en aquestes dues parades (un mes aproximadament a cada pausa). S'estableix aquest mínim de parades però podrien fer-se varies més, tot i que amb uns costos de parada i posta en marxa de la planta molt més elevats al cap de l'any. Alhora, no interessa interrompre gaire sovint la fabricació del producte per poder tindre un subministrament constant al mercat que impliqui les menors fluctuacions econòmiques, amb balanços més complicats.

El personal constarà dels següents treballadors qualificats per cada àrea de la planta:

- i. Directius i tècnics: 6 persones s'encarregaran de la gestió i direcció de l'empresa. L'horari d'aquests serà variable depenent de les necessitats puntuals de l'empresa, les relacions internacionals, conferències, reunions, etc.
- ii. Caps de secció o especialistes: es compondrà d'un conjunt de 12 enginyers químics, industrials, de procés i altres especialistes encarregats de supervisar totes les seccions de l'empresa per garantir la seguretat i correcte funcionament de la planta. Treballaran en torns de matí i tarda, amb 3 especialistes sempre de guàrdia per prevenir possibles accidents a qualsevol moment de la producció.
- iii. Operaris i obrers: hi haurà 30 operaris distribuïts a les 6 àrees de matèries primes (4 operaris), producció (6 operaris), purificació i formulació (6 operaris), emmagatzematge (4 operaris), tractament de residus (6 operaris) i càrrega i descàrrega (4 operaris). La plantilla de personal d'operaris i obrers s'encarregarà de la correcta operació de la planta i el manteniment d'aquesta, treballant en 4 torns alterns: matí, tarda, nit i descans.
  - Matí: 5 dies de 8:00 a 16:00h.
  - Tarda: 5 dies de 16:00 a 24:00h.
  - Nit: 5 dies de 24:00 a 8:00h.
  - Descans: hi haurà 2 dies de descans cada 5 dies treballats (no necessàriament en cap de setmana), excepte el torn de nit que al finalitzar que en cas de finalitzar un divendres a les 8:00h, tornaria al treball el diumenge d'aquesta mateixa setmana.

Així, es garanteix que els dies de descans siguin alterns i ningú descansi sempre els caps de setmana.

- iv. Personal d'oficina (màrqueting, recursos humans, comptabilitat i administració): l'horari d'oficines serà de 40 hores setmanals, de dilluns a divendres, de 8:00 a 17:00h amb una hora entremig per dinar. Hi haurà un total de 18 treballadors: 5 per comptabilitat, 7 administratius, 4 dins el sector de màrqueting i 2 en recursos humans.
- v. Personal de laboratori: constarà d'una plantilla de 16 persones dividides en control de qualitat i R+I+D. Els 8 treballadors de R+I+D faran l'horari d'oficines, mentre que la secció de control de qualitat treballarà en el torn de matí (4 persones) o de tarda (4 persones), per garantir l'anàlisi de tot el producte acabat. La plantilla estarà formada per 10 tècnics de laboratori i 6 químics/enginyers químics.
- vi. Personal de neteja: 1 treballador al torn de matí, 1 treballador al torn de tarda i 2 treballadors al torn de nit. La neteja de les oficines i els laboratoris únicament es realitzarà al torn de nit, moment en el què el personal d'aquestes seccions no estarà treballant.
- vii. Personal de seguretat: es necessitarà 1 persona de seguretat en tot moment vigilant l'entrada a la planta. L'equip de seguretat constarà de 4 persones que treballaran als següents torns alterns:
  - Matí: de dilluns a diumenge 12 hores (6:00 a 18:00h). Un treballador per setmana.
  - Tarda: de dilluns a diumenge 12 hores (18:00 a 6:00h). Un treballador per setmana.
  - Descans: dos treballadors per setmana.

#### **1.4. Necessitats i especificacions de serveis**

La planta de fabricació de SEVIN® requerirà d'uns serveis que permetin el seu correcte funcionament, i tanmateix representen la part majoritària dels costos d'operació de la instal·lació. L'ús de serveis de la forma més òptima possible reduirà els cost econòmic variable de la planta en major grau.

##### **1.4.1. Aigua de la xarxa**

L'aigua de xarxa s'usarà en tasques de neteja, als laboratoris, dutxes, menjadors, jardins i oficines i vindrà subministrada per una canonada de 200 mm a una pressió màxima de servei de 4 kg/cm<sup>2</sup>. 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.

### 1.4.2. Agua 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 9 metres de diàmetre per 7 metres d'alçada, i d'un sistema de bombeig d'aigua a través de la xarxa contra incendis.

### 1.4.3. Aigua descalcificada (DC-501)

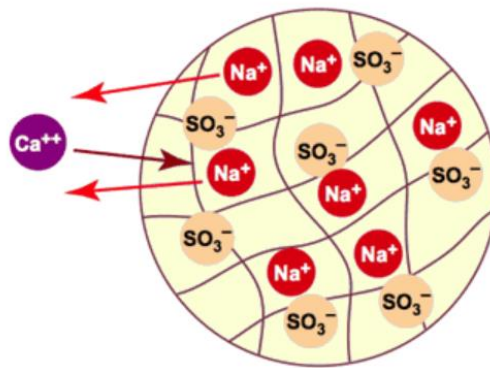
En la formulació d'àcid clorhídric a les columnes d'absorció CA301 i CA-302 es necessitarà aigua descalcificada, que eviti problemes futurs d'incrustacions o contaminacions d'equips i canonades. Tanmateix, l'ús d'aigua descalcificada disminueix la corrosió ocasionada a les columnes ja que l'aigua de xarxa resulta més corrosiva. Eliminant la duresa de l'aigua s'allarga la vida útil dels equips dels quals es disposa.

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 Sodi ( $\text{Na}^+$ ).

El bescanvi iònic es dona degut a la gran afinitat de la reïna pel Calci ( $\text{Ca}^{2+}$ ) i Magnesi ( $\text{Mg}^{2+}$ ) presents a l'aigua, de manera que la reïna allibera els ions de Sodi per retenir aquests últims. La figura 1.4.3.1 mostra el funcionament del bescanvi iònic per a 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 1.4.3.1.** Bescanvi catiònic per a 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 el temps transcorregut des de la última regeneració per calcular quan serà necessària la pròxima regeneració (freqüència i periodicitat fixades).
- 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.

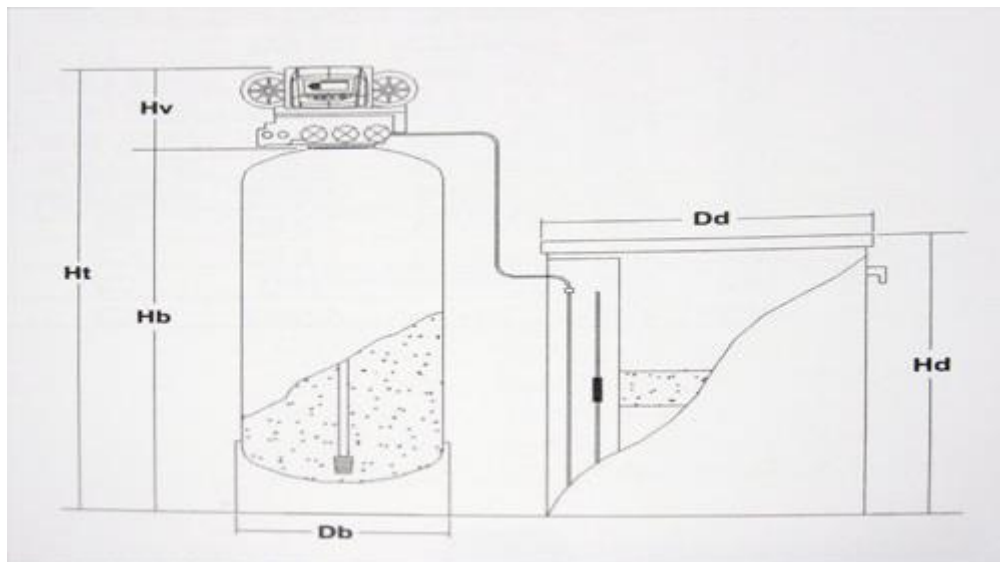
Com que es necessitarà 1,2 m<sup>3</sup>/h d'aigua descalcificada a les columnes CA-301 i CA-302, es requereix un descalcificador que com a mínim proporcioni aquest cabal per la producció d'àcid clorhídric. S'escull el descalcificador Magnum 762-125L, model MG74, de l'empresa *Aguas del Mare Nostrum 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 1.4.3.2.** Descalcificador Magnum 762-125L model MG74.

La figura 1.4.3.3 mostra les dimensions del sistema de descalcificació del qual es compona l'equip descrit.



**Figura 1.4.3.3.** Dimensions del sistema de descalcificació Magnum 762-125L.

La taula 1.4.3.1 mostra els valors de les dimensions recollides a la figura 1.4.3.3.

**Taula 1.4.3.1.** Dimensions del grup descalcificador Magnum 762-125L.

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

#### 1.4.4. Grup de fred (CH-501)

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 troba compostat 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 1.4.4.1 mostra les necessitats de refrigeració mitjançant un Chiller, resultat de la suma dels requeriments dels dipòsits refredats DR-301 i DR-302 a l’àrea 300b, i de tots aquells bescanviadors que hagin de refredar a temperatures inferiors a les de l’ambient (25 °C).



**Taula 1.4.4.1.** Necessitats de fred dels bescanviadors al procés de producció de Carbaril

Ítem	Tipus de bescanviador	Temperatura del fluid refrigerant (°C)		Cabal de refrigerant (kg/h)	Temperatura del fluid de procés (°C)		Calor bescanviat (kcal/h)
		Entrada	Sortida		Entrada	Sortida	
BC-101	Carcassa i tubs.	-15	-6	2939	38,8	-5	9766
BC-103	Carcassa i tubs.	-15	-10	1425	0	-5	2612
BC-204	Carcassa i tubs.	-15	5	6134	25	5	46102
BC-205	Carcassa i tubs.	-15	20	4724	77	21,3	63843
BC-207	Carcassa i tubs.	-15	-2	4357	7,6	7,6	21049
BC-216	Carcassa i tubs.	-15	25	14352	110,6	25	222186
BC-217	Carcassa i tubs.	-15	0	1492	90	46	8342
BC-218	Carcassa i tubs.	-15	25	8073	38,8	38,8	125096
BC-220	Carcassa i tubs.	-15	0	1454	40	25	8823
BC-301	Carcassa i tubs.	-15	25	15656	71,9	40,8	235092
BC-304	Carcassa i tubs.	-15	20	5434	67	62	76970
BC-306	Carcassa i tubs.	-15	25	3994	68,5	62	64699
BC-308	Carcassa i tubs.	-15	25	8893	64	62	144049
BC-310	Carcassa i tubs.	-15	25	11825	65	62	191533
BC-312	Carcassa i tubs.	-15	25	2094	75	62	50118
BC-313	Carcassa i tubs.	-15	25	5552	62	25	85951
BC-209	Carcassa i tubs.	-15	25	10458	100	97,5	169405
BC-210	Carcassa i tubs.	-15	25	10458	100	97,5	169405
BC-211	Carcassa i tubs.	-15	25	10458	100	97,5	169405
BC-212	Carcassa i tubs.	-15	25	10458	100	97,5	169405

La potència frigorífica total requerida als equips anteriorment llistats es troba inclosa a la taula 1.4.4.2.

**Taula 1.4.4.2.** Potència frigorífica total requerida als bescanviadors.

	Temperatura d'entrada del fluid refrigerant a l'equip	Consum (kg/h)	Potència (kcal/h)	Potència (kW/h)
Amoníac	-15	140230	2033851	2359,3
	TOTAL	140230	2033851	2359,3

S'escull un grup de fred refrigerat amb amoníac proporcionat per l'empresa *Reynold India Private Limited*, compostat de les següents característiques:

- Rang de temperatura d'operació: de -40 °C fins a 30 °C.
- Rang de potència frigorífica: de 60 a 3200 kW.

La potència màxima que pot subministrar el Chiller refrigerat amb amoníac ha de ser superior a la requerida, i en aquest cas es té un marge d'aproximadament uns 840 kW per possibles ampliacions o millores del procés en un futur.

La figura 1.4.4.1 mostra una imatge del grup de fred escollit.



**Figura 1.4.4.1.** Grup de fred o “Chiller” refrigerat amb amoníac.

#### **1.4.5. Calderes d'oli tèrmic (CO-501 i CO-502)**

Al procés de producció de Carbaril 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 Carbaril. A més, també s'opta per no utilitzar vapor degut a les reaccions secundàries i fortament perjudicials que poden esdevenir al posar en contacte MIC amb aigua en cas de fugues.

Les taules 1.4.5.1 i 1.4.5.2 mostren els requeriments de calor necessaris als bescanviadors al llarg del procés de producció, pels diferents salts tèrmics establerts per l'oli tèrmic Dowtherm J, mentre que la taula 1.4.5.3 mostra els requeriments totals de calor amb la suma de tots els equips.

**Taula 1.4.5.1.** Necessitats de calor dels bescanviadors on l'oli tèrmic entra a 130 °C.

Ítem	Tipus de bescanviador	Temperatura del fluid calefactor (°C)		Cabal de calefactor (kg/h)	Temperatura del fluid de procés (°C)		Calor bescanviat (kcal/h)
		Entrada	Sortida		Entrada	Sortida	
BC-201	Kettle reboiler.	130	90	3514	7,6	7,56	70128
BC-208	Kettle reboiler.	130	110	2548	98,4	100	24692
BC-219	Kettle reboiler.	130	105,2	9822	102,5	104,3	120795
BC-309	Kettle reboiler.	130	90	12125	17	65	243700
BC-311	Kettle reboiler.	130	90	2532	65	75	50396
BC-314	Carcassa i tubs.	130	122	1347	-26,5	5	5529

**Taula 1.4.5.2.** Necessitats de calor dels bescanviadors on l'oli tèrmic entra a 270 °C.

Ítem	Tipus de bescanviador	Temperatura del fluid calefactor (°C)		Cabal de calefactor (kg/h)	Temperatura del fluid de procés (°C)		Calor bescanviat (kcal/h)
		Entrada	Sortida		Entrada	Sortida	
BC-202	Carcassa i tubs.	270	230	1653	-6,4	240	33556
BC-203	Carcassa i tubs.	270	230	1753	7,6	205	35600
BC-206	Kettle reboiler.	270	230	5472	105,2	105,7	113036
BC-213	Kettle reboiler.	270	230	11266	110,6	110,6	228735
BC-214	Kettle reboiler.	270	230	11266	110,6	110,6	228735
BC-215	Kettle reboiler.	270	230	11266	110,6	110,6	228735
BC-302	Kettle reboiler.	270	230	9870	84,4	85,8	203907
BC-315	Kettle reboiler.	270	2655	133	134,2	134,8	337

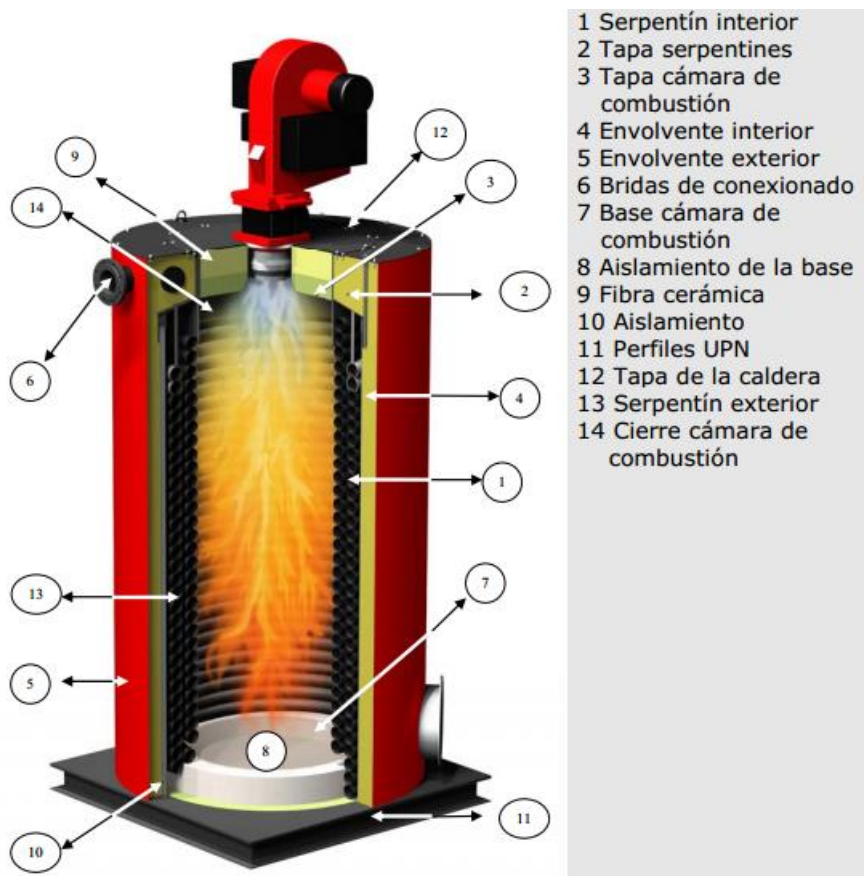
**Taula 1.4.5.3.** Potència frigorífica total requerida als bescanviadors.

	Temperatura d'entrada de l'oli tèrmic a l'equip	Consum (kg/h)	Potència (kcal/h)	Potència (kWh)
Oli tèrmic Dowtherm J	130	31888	515240	597,7
	270	52679	1072641	1244,3
	TOTAL	84567	1587881	1841,9

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

- Temperatura màxima de servei fins a 350 °C.
- Potència calorífica de 1160 kWh.
- Pressió màxima de servei fins a 7 bars.
- Número de serpentins: 2.
- Passos efectius de fums: 3.
- Rendiment tèrmic: 87 – 91%.

La figura 1.4.5.1 mostra un esquema de les parts que componen les calderes, mentre que la figura 1.4.5.2 mostra una imatge de la caldera real.

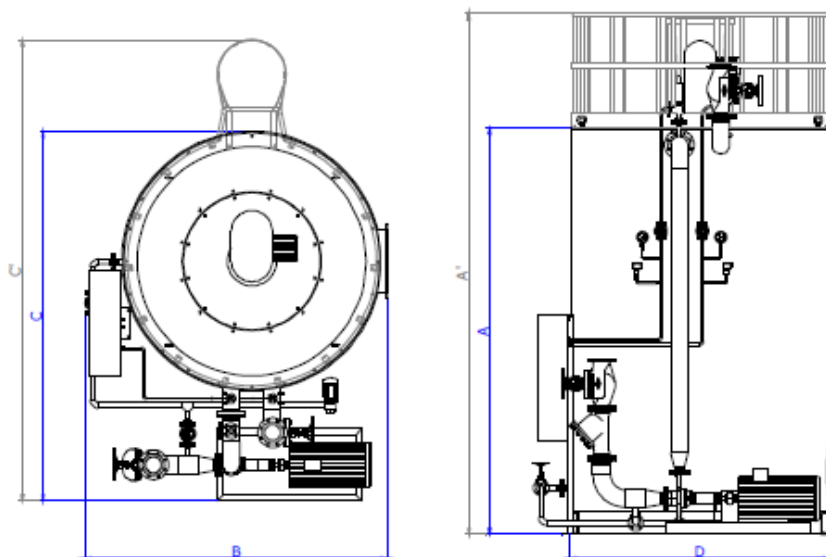


**Figura 1.4.5.1.** Esquema del funcionament de la caldera d'oli tèrmic.



**Figura 1.4.5.2.** Caldera d'oli tèrmic de l'empresa PIROBLOC.

Els model escollit correspon a GFT-090/40, i es duplicarà la caldera per a que cadascuna treballi amb el salt tèrmic especificat als bescanviadors. Finalment, la figura 1.4.5.3 mostra les dimensions del model de 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

Figura 1.4.5.2. Dimensions de la caldera d'oli tèrmic.

De nou, es pren una caldera capaç 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.

#### 1.4.6. 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 de fabricació de SEVIN® disposa d'una connexió de gas natural a peu de parcel·la amb una pressió de subministrament de 1,5 kg/cm<sup>2</sup> (pressió mitja). S'emprarà gas natural per escalfar l'oli tèrmic fins la temperatura estipulada: 130 i 270 °C respectivament.

L'equació 1.4.6.1 mostra el càlcul del consum de gas natural segons la potència nominal requerida als bescanviadors en kcal/h.

$$C = \frac{Q}{\eta \cdot PCI_{gas}} \quad [Eq. 1.4.6.1]$$

On les diverses variables representen:

- C = consum de gas natural (m<sup>3</sup>/h).
- Q = potència nominal (kcal/h).
- η = rendiment tèrmic (90%).
- PCI<sub>gas</sub> = poder calorífic interior (10000 kcal/m<sup>3</sup>).

Amb els requeriments energètics dels bescanviadors escalfats amb oli tèrmic recollits a la taula 1.4.5.3, es calcula el cabal de gas natural substituint termes a l'equació anterior:

$$C \left[ \frac{m^3}{h} \right] = \frac{1587881 \text{ kcal/h}}{0,9 \cdot 10000 \text{ kcal/m}^3} = 176,4 \frac{m^3}{h}$$

Per tant, es necessiten 176,4 m<sup>3</sup>/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 202,9 m<sup>3</sup>/h.

#### 1.4.7. Nitrogen (T-501 i T-502)

El servei de nitrogen és imprescindible per inertitzar els tancs d'emmagatzematge i els equips, essent d'ús obligatori a les àrees on es treballi amb 1-Naftol i Carbaril, ja que són productes en pols i poden ser explosius. El producte que presenta majors necessitats d'inertització amb nitrogen és el MIC, ja que resulta molt inestable i pot 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 5 dies per mantenir l'atmosfera inert als equips.

La taula 1.4.7.1 mostra les quantitats de nitrogen necessàries 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 1.4.7.1.** Necessitats de reposició de nitrogen als equips més importants (1).

Referència	Equip	Volum equip (m <sup>3</sup> )	Volum N <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )
T-101	Tanc d'emmagatzematge de monometilamina	51	0,51
T-102	Tanc d'emmagatzematge de monometilamina	51	0,51
T-103	Tanc d'emmagatzematge de foscè	36	0,36
T-104	Tanc d'emmagatzematge de foscè	36	0,36
T-105	Tanc d'emmagatzematge de foscè	36	0,36
D-101	Dipòsit de metil isocianat	1,8	0,018
T-106	Tanc de NaOH 4%	41,2	0,41
T-107	Tanc de NaOH 10-20%	5	0,050
T-108	Tanc d'emmagatzematge de toluè	150	1,50
T-109	Tanc d'emmagatzematge de toluè	150	1,50
T-110	Tanc d'emmagatzematge de toluè	150	1,50
T-111	Tanc d'emmagatzematge de toluè	150	1,50
R-201	Reactor de carcassa i tubs	2,1	0,021
CA-201	Columna d'absorció	4,4	0,044
DP-201	Dipòsit pulmó CD-201	40,5	0,40
CD-201	Columna de destil·lació	2,7	0,027
DP-202	Dipòsit de condensats CD-201	0,2	0,0020
DP-203	Dipòsit pulmó CD-202	1,6	0,016



**Taula 1.4.7.1.** Necessitats de reposició de nitrogen als equips més importants (2).

Referencia	Equip	Volum equip (m <sup>3</sup> )	Volum N <sub>2</sub> (m <sup>3</sup> )
CD-202	Columna de destil·lació	0,28	0,0028
DP-204	Dipòsit de condensats CD-202	0,1	0,0010
DP-205	Dipòsit pulmó CD-203	48,2	0,48
CD-203	Columna de destil·lació	23,4	0,23
DP-206	Dipòsit de condensats CD-203	2,5	0,025
R-202	Reactor de tanc agitat	70,4	0,70
DP-207	Dipòsit de sortida líquida del R-202	11,1	0,11
CD-204	Columna de destil·lació	4,3	0,043
DP-208	Dipòsit de condensats CD-204	0,44	0,0044
DP-209	Dipòsit pulmó	12,4	0,12
DM-201	Dipòsit de mescla	7,0	0,070
DM-202	Dipòsit de mescla	7,0	0,070
DM-203	Dipòsit de mescla	3,5	0,035
DM-204	Dipòsit de mescla	4,2	0,042
R-203	Reactor de carcassa i tubs	1,8	0,018
R-204	Reactor de carcassa i tubs	1,8	0,018
DP-210	Dipòsit pulmó Toluè refrigerant	9,2	0,092
DP-301	Dipòsit pulmó CD-301	44,3	0,44
CD-301	Columna de destil·lació	5,7	0,057
DP-302	Dipòsit de condensats CD-301	0,75	0,0075
CR-301	Cristal·litzador DTB	44,9	0,45
DP-303	Dipòsit de condensats CR-301	0,31	0,0031
CR-302	Cristal·litzador DTB	41,7	0,42
DP-304	Dipòsit de condensats CR-302	0,24	0,0024
DM-301	Dipòsit de mescla	1,83	0,018
CR-303	Cristal·litzador DTB	26,7	0,27
DP-305	Dipòsit de condensats CR-303	0,56	0,0056
DR-301	Dipòsit refredats per Chiller	4,8	0,048
DR-302	Dipòsit refredats per Chiller	4,8	0,048
DP-306	Dipòsit de condensats BC-309	0,75	0,0075
DP-307	Dipòsit de condensats BC-311	0,75	0,0075
DM-302	Dipòsit de mescla	0,48	0,0048
CA-301	Columna d'absorció d'HCl gas	17,2	0,17
CA-302	Columna d'absorció d'HCl gas	18,2	0,18
DP-308	Dipòsit pulmó	15	0,15
T-401	Tanc d'emmagatzematge d'àcid clorhídric	45	0,45
T-402	Tanc d'emmagatzematge d'àcid clorhídric	45	0,45
T-403	Tanc d'emmagatzematge d'àcid clorhídric	45	0,45
		TOTAL	14,8
		TOTAL + 15%	17,1

Per tant, s'haurà d'emmagatzemar 17,1 m<sup>3</sup> de nitrogen gas per les constants reposicions. A aquest resultat, se li haurà de sumar el volum resultant de la suma dels volums totals dels equips principals (1488 m<sup>3</sup> de gas) i el volum requerit per l'assecatge de la resina un cop feta la regeneració dels reactors R-203 i R-204 (seqüencialment es necessitaran aproximadament 15 m<sup>3</sup> cada 11 dies), per tant es requerirà un total de 1512,61 m<sup>3</sup> de N<sub>2</sub> gas.

D'altra banda, però, el nitrogen es sol emmagatzemar líquat 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 líquat necessari, emprant les equacions 1.4.7.1 i 1.4.7.2.

$$m_{Nitrogen} = \rho_{gas} \cdot V_{gas} \quad [Eq. 1.4.7.1]$$

$$V_{líquid} = \frac{m_{Nitrogen}}{\rho_{líquid}} \quad [Eq. 1.4.7.2]$$

La taula 1.4.7.2 recull els resultats de volum de nitrogen a emmagatzemar a la planta de fabricació de Carbaril.

**Taula 1.4.7.2.** Necessitats de volum de nitrogen líquat.

<b>Volum gas (m<sup>3</sup>)</b>	1512,61
<b>Densitat gas (kg/m<sup>3</sup>)</b>	1,25
<b>Densitat líquid (kg/m<sup>3</sup>)</b>	598
<b>Quantitat de N<sub>2</sub> (kg)</b>	1890,8
<b>Volum N<sub>2</sub> líquat (m<sup>3</sup>)</b>	3,16
<b>Volum N<sub>2</sub> líquat (L)</b>	3162

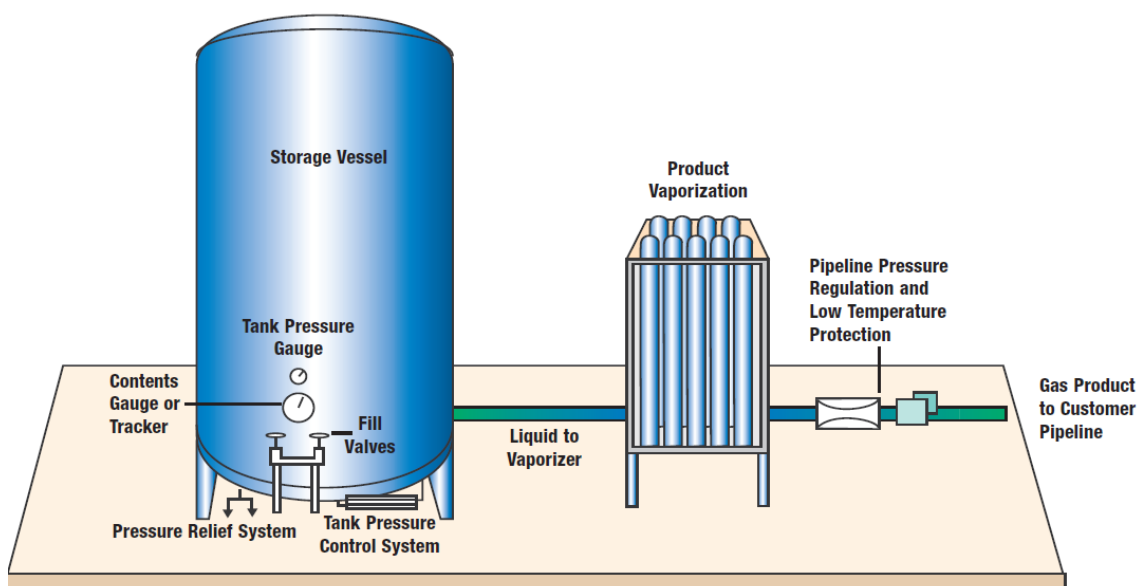
S'opta per demanar el subministrament de nitrogen líquid a l'empresa Praxair que disposa de tancs de 2000 litres de capacitat. Els tancs de nitrogen estaran formats per dos recipients amb l'interior fet d'acer inoxidable austenític i l'exterior fet d'acer al carboni. L'espai entre ambdós materials estarà 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 1.4.7.3 mostra les especificacions tècniques dels tancs de nitrogen, mentre que la figura 1.4.7.1 mostra un esquema de la vaporització i posta en servei del nitrogen a planta.

**Taula 1.4.7.3.** Especificacions tècniques del tanc de nitrogen.

<b>Model</b>	2000VHP
<b>Capacitat bruta (L)</b>	2042
<b>Capacitat neta (L)</b>	1945
<b>Pressió màxima de treball (bar)</b>	34,5
<b>Cabal màxim de gas (L/min)</b>	944
<b>Diàmetre (m)</b>	1,22
<b>Alçada (m)</b>	2,97
<b>Pes buit (kg)</b>	1340
<b>Especificacions de disseny</b>	ASME

**Figura 1.4.7.1.** Esquema de la vaporització i servei a planta de nitrogen.

#### 1.4.8. 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:

- a) 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.
- b) Compressió: la pressió del gas augmenta i el volum disminueix degut al engranatge final.
- c) Descàrrega: el fluid es descarrega contínuament fins que l'espai entre els lòbuls dels rotors desapareix.

La figura 1.4.8.1 mostra un esquema de les etapes del compressor i les parts que les componen.

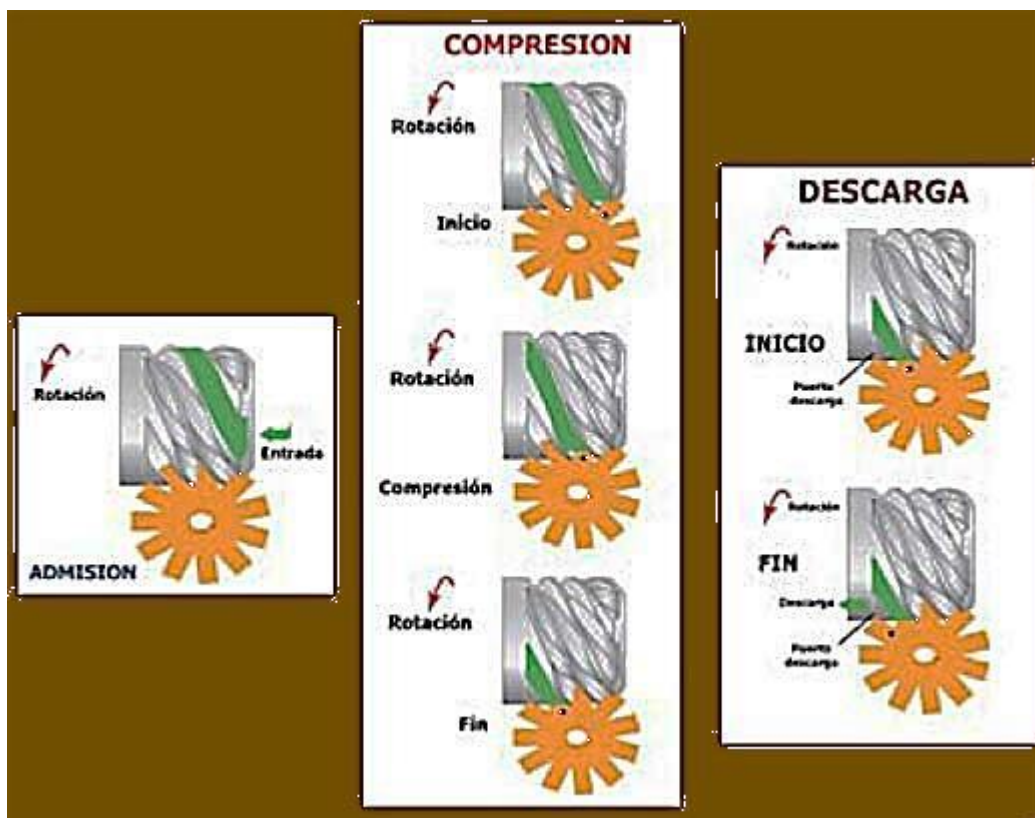


Figura 1.4.8.1. Esquemes de les etapes de funcionament del compressor.

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 1.4.8.2 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 1.4.8.1.** Compressor model GA30+-90 / GA 37-90 VSD de l'empresa *Atlas Copco*.

### 1.4.9. 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 agunti 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 KILVERMIN, 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 1.4.9.1 mostra una imatge de l'estació transformadora comprada a Ormazabal.



Figura 1.4.9.1. Estació transformadora.

La figura 1.4.9.2 mostra les característiques elèctriques i les dimensions de l'estació transformadora escollida.

Características eléctricas			24 kV: C <sub>0</sub> B <sub>K</sub> (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 <sub>0</sub> [W]	Lista C <sub>0</sub>		425	610	720	860	930	1100	1350	1700	2100	2500
Pérdidas en Carga - P <sub>k</sub> [W]	Lista B <sub>k</sub>		2750	3850	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 <sub>wA</sub> [dB]			55	58	59	60	61	63	64	66	68	71
Caída de tensión a plena carga (%)	CARGA 100%	cosφ=1	1.17	1.04	1.00	0.93	1.05	1.08	1.06	1.05	1.08	1.06
		cosφ=0.8	3.22	3.13	3.10	3.06	4.35	4.37	4.38	4.35	4.35	4.35
Rendimiento (%)	CARGA 100%	cosφ=1	98.75	98.90	98.95	99.02	99.02	99.00	98.98	99.03	99.03	99.03
		cosφ=0.8	98.44	98.63	98.69	98.77	98.78	98.73	98.79	98.79	98.79	98.79
CARGA 75%	cosφ=1	98.96	99.08	99.13	99.18	99.20	99.19	99.17	99.21	99.21	99.21	
	cosφ=0.8	98.70	98.86	98.91	98.98	99.00	98.98	98.97	99.01	99.02	99.02	
Dimensiones [mm]			250	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Potencia asignada [kVA]			250	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
A [Largo]			1376	1537	1622	1569	1997	1997	2007	1965	1965	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	1715	1836
D1 [Alto a MT con Porcelana MT]			1300	1389	1477	1354	1543	1543	1758	2056	2100	2221
D3 [Alto a MT Borna enchufable MT]			1004	1093	1181	1258	1247	1247	1462	1760	1804	1923
D2 [Alto a BT con Palas]			1149	1238	1333	1430	1491	1491	1706	2040	2084	2266
F [separación MT]			275	275	275	275	275	275	275	275	275	275
H [separación entre BT]			150	150	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	1245	1340
Peso total [Kg]			1100	1420	1810	1920	2530	2560	3200	4950	5150	5750

Figura 1.4.9.2. 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 1.4.9.3 mostra una imatge del model escollit.



**Figura 1.4.9.3.** Grup electrogen de FGWilson, model P-2500-1.

Les figures 1.4.9.4 a 1.4.9.10 mostren les especificacions tècniques dels grups electrògens escollits junt amb 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 1.4.9.4.** 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 1.4.9.5. 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 1.4.9.6. 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: m³/min (cfm)		
- Continua	160,0 (5650)	-
- Emergencia	175,0 (6180)	-
Restricción máx. en admisión del aire de combustión: kPa (En H <sub>2</sub> O)	3,7 (14,9)	-

Figura 1.4.9.7. Sistema d'aire integrat als grups electrògens.

Sistema de refrigeración		50 Hz	60 Hz
<b>Capacidad del sistema de refrigeración:</b> l (US gal)			
		436,0 (115,2)	-
<b>Tipo de bomba de agua:</b>		Centrugo	
<b>Calor disipado en el agua y aceite lubricante:</b> kW (Btu/min)			
	- Continua	757,0 (43050)	-
	- Emergencia	830,0 (47201)	-
<b>Radiación de calor a la sala:</b> Radiación de calor desde el motor y el alternador kW (Btu/min)			
	- Continua	206,1 (11721)	
	- Emergencia	236,0 (13421)	
<b>Consumo del ventilador del radiador:</b> kW		35,7 (114,9)	-
<b>Flujo del aire de refrigeración del radiador:</b> m <sup>3</sup> /min (cfm)		2625,6 (92722)	-
<b>Restricción externa en el caudal del aire de refrigeración:</b> Pa (in H <sub>2</sub> O)		250 (1,0)	-

Figura 1.4.9.8. Sistema de refrigeració dels grups electrògens.

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

Figura 1.4.9.9. Sistema de lubricació dels grups electrògens.

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

Figura 1.4.9.10. Sistema pel combustible dels grups electrògens.

#### 1.4.10. 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 (majoritàriament parafines tipus *n*, *iso*, i cicloparafines) i un 25% d'hidrocarburs aromàtics (incloent les naftalines i benzens alcalins).

Depenent del petroli utilitzat, la fórmula pot variar de l'estàndard: C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>, anant des de C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> fins a C<sub>15</sub>H<sub>32</sub>. En menor quantitat hi ha compostos de nitrogen, oxigen, sofre... que influeixen molt en les propietats finals del gasoil.

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:

$$V_{gasoil} = 90 \text{ min} \cdot \frac{1h}{60min} \cdot \frac{527 L}{h} = 790,5 L$$

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 1.4.10.1.** Dipòsit de gasoil.

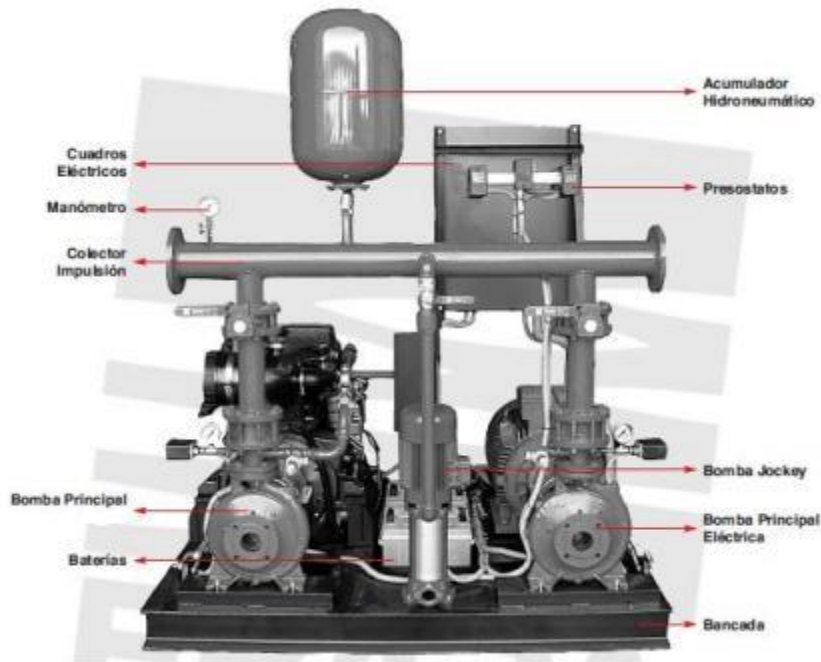
Es decideix comprar els dipòsits a l'empresa ROTH construïts en xapa d'acer galvanitzat amb elevada resistència a la corrosió, per una capacitat de 1000 litres amb les dimensions recollides a la figura 1.4.10.2.

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 1.4.10.2.** Dimensions dels dipòsits de gasoil de 1000 litres.

### 1.4.11. Estació de bombeig

Les anomenades estacions de bombeig o grup contra incendis consten de les següents parts, recollides a la figura 1.4.11.1.



**Figura 1.4.11.1.** Components d'una estació de bombeig.

A continuació es detalla la funció de cadascun dels 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'esmorteïdor 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 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.

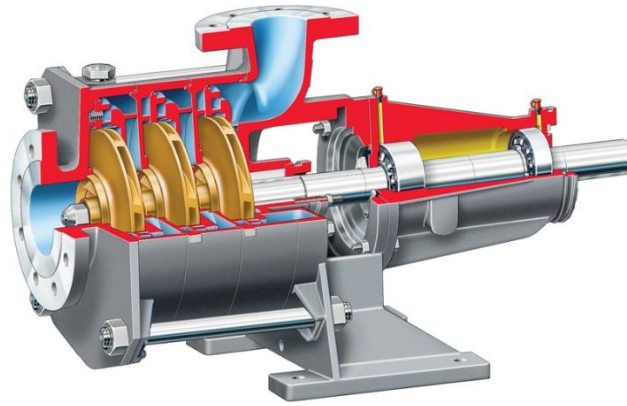
Els grups principals contarán amb arrancada automàtica i manual i parada únicament manual. Com que la bomba auxiliar arranca i para automàticament, s'haurà d'evitar la repetició molt intermitent de posta en marxa i parada per evitar possibles imperfeccions a la xarxa.

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.

Per tant, l'estació haurà de complir totes aquestes especificacions les mencionades al capítol 5 sobre *Seguretat i higiene*, on es requeria un cabal d'aigua contra incendis de 345 m<sup>3</sup>/h a una pressió de 11 bars. S'escull el model FP de les bombes horitzontals multi etapa de l'empresa Flowserve, amb les següents especificacions tècniques:

- Cabals fins a 500 m<sup>3</sup>/h.
- Alçades de fins a 250 m.
- Pressions fins a 25 bars.



**Figura 1.4.11.2.** Bomba principal de l'estació de bombeig.

#### **1.4.12. Clavegueram**

El clavegueram consta d'una xarxa unitària al centre del carrer a una profunditat de 3,5 m i amb un diàmetre del col·lector de 800 mm.