

# PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID

PROJECTE FI DE GRAU

Enginyeria Química

Juny 2026



Cesc Anguera Llàcer, Isis Blanco Casahuga, Matilde Granwehr de Sousa,  
Oriol Fortuny Gómez, Jose Ignacio Esquivel Silva

TUTOR: Antoni Sánchez Ferrer



# PLANTA DE PRODUCCIÓ DE FORMALDEHID

PROJECTE FI DE GRAU

Enginyeria Química

Juny 2026

## **CAPÍTOL 7: VALORACIÓ ECONÒMICA**



Cesc Anguera Llàcer, Isis Blanco Casahuga, Matilde Granwehr de Sousa,  
Oriol Fortuny Gómez, Jose Ignacio Esquivel Silva

TUTOR: Antoni Sánchez Ferrer



# TAULA DE CONTINGUTS

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 7.1. INTRODUCCIÓ .....                                             | 1  |
| 7.2 FORMA JURÍDICA DE METHAFORM.....                               | 1  |
| 7.3 ESTUDI DE MERCAT .....                                         | 2  |
| 7.3.1 ANÀLISI DEL PRODUCTE.....                                    | 2  |
| 7.3.2 COMPETÈNCIA DE MERCAT .....                                  | 5  |
| 7.3.3 MERCAT DE LES MATÈRIES PRIMERES I AUXILIARS .....            | 6  |
| 7.3.4 ANÀLISI DAFO .....                                           | 7  |
| 7.4 VALORACIÓ ECONÒMICA DE LA PLANTA .....                         | 8  |
| 7.4.1 CAPITAL IMMOBILITZAT (COST DELS EQUIPS ADQUIRITS).....       | 8  |
| 7.4.1.1 DESGLOSSAMENT DEL COST D'EQUIPS PER ÀREES OPERATIVES ..... | 9  |
| 7.4.1.2 TERRENYS .....                                             | 13 |
| 7.4.1.3 MÈTODE DE VIAN (CAPITAL IMMOBILITZAT ) .....               | 13 |
| 7.4.2 CAPITAL CIRCULANT .....                                      | 16 |
| 7.4.3 POSADA EN MARXA.....                                         | 16 |
| 7.4.4 INVERSIÓ INICIAL (CAPEX) .....                               | 16 |
| 7.5 ESTIMACIÓ DELS COSTOS DE PRODUCCIÓ (OPEX).....                 | 16 |
| 7.5.1 COSTOS DE FABRICACIÓ .....                                   | 17 |
| 7.5.1.1 MATÈRIA PRIMA .....                                        | 17 |
| 7.5.1.2 MÀ D'OBRA DIRECTA.....                                     | 17 |
| 7.5.1.3 SERVEIS AUXILIARS .....                                    | 20 |
| 7.5.1.4 COSTOS D'OPERACIÓ ANUALS (OPEX) .....                      | 21 |
| 7.6 INGRESSOS PER VENDES.....                                      | 22 |
| 7.7 RENDIBILITAT DEL PROJECTE.....                                 | 22 |
| 7.7.1 VIDA ÚTIL I EL VALOR RESIDUAL (VR) .....                     | 22 |
| 7.7.2 AMORTITZACIÓ.....                                            | 23 |
| 7.7.3 PARÀMETRES DE L'ANÀLISI .....                                | 23 |
| 7.7.4 ANÀLISI DELS INDICADORS DE RENDIBILITAT (VAN I TIR).....     | 25 |
| 7.7.5 PAY-BACK .....                                               | 25 |
| 7.8 BIBLIOGRAFIA.....                                              | 27 |

## 7.1. Introducció

La part econòmica a l'hora de realitzar un projecte industrial d'aquestes dimensions és fonamental, ja que determinarà la viabilitat del projecte i si serà capaç de generar valor de manera sostenible. Quan es posa en marxa una instal·lació, dissenyar un procés productiu eficient a nivell tècnic no és suficient, és necessari que els beneficis nets de la comercialització superin els costos operatius. Si a nivell econòmic el projecte no és factible, aquest no podrà avançar. Així doncs aquesta comprovació és una condició indispensable per a la seva execució.

En aquest apartat del projecte es farà un estudi econòmic de MethaForm. La finalitat és analitzar en profunditat tots els paràmetres financers per avaluar la rendibilitat a llarg termini en un context industrial actual.

En primer lloc, es farà un estudi de mercat, per comprendre la demanda actual i projectada, conèixer la competència i entendre les tendències del sector. Això ens permetrà definir una estratègia comercial òptima.

Des d'un punt de vista financer, l'estimació de la inversió inicial necessària és crucial. Aquesta es divideix en dues parts molt importants. Per una banda, tenim el capital immobilitzat. Per calcular-lo, s'utilitza el mètode de Vian, juntament amb el mètode de Sinnott-Towler, que serveix per determinar el cost dels equips. A més, també es té en compte el valor del terreny. El capital immobilitzat inclou tots els actius fixos que són bàsics per al funcionament, com ara les instal·lacions, els equips i la infraestructura. Per altra banda, hi ha el capital circulant. Aquest es calcula mitjançant el mètode global. El capital circulant cobreix tots els recursos necessaris per assegurar la continuïtat del procés de producció. La suma del capital immobilitzat i del capital circulant, juntament amb els costos de posada en marxa, defineix el capital total que cal invertir. Així doncs, tots aquests elements són essencials per dur a terme una planificació financera acurada i eficaç.

Seguidament, s'estimen els costos relacionats amb la producció, tan costos fixos (salaries, impostos, etc.) com variables (consum energètic, matèries primeres, etc.) Fer una bona definició d'aquests paràmetres és fonamental per establir eines de reducció de costos, obtenint així un avantatge en el sector.

Finalment, per analitzar la rendibilitat econòmica del projecte, s'examinen els fluxos nets de caixa. Això ajuda a obtenir indicadors financers importants per avaluar l'impacte de la inversió, com ara el Valor Actual Net i la Taxa Interna de Retorn. És fonamental que aquesta taxa superi la inflació actual. També es considera el període de recuperació del capital, un factor que afecta directament l'exposició al risc financer i l'atractiu per als inversors. Tots aquests elements junts determinen les conclusions finals sobre si és viable implementar MethaForm.

## 7.2 Forma jurídica de MethaForm

La planta MethaForm adopta la forma jurídica de Societat Anònima (S.A.), la qual està regulada pel RD 1/2010 del 2 de juliol. El seu capital social estaria principalment dividit en accions i la responsabilitat de cada un dels socis es limitaria en funció del capital aportat. La Junta general d'Accionistes i el Consell d'Administració formarien els òrgans de govern.

S'ha optat per aquesta estructura, ja que es considera la més adequada tenint en compte l'envergadura industrial del projecte. El fet de que sigui una S.A., converteix MethaForm en un projecte amb gran captació de fons i entrada d'inversions, les quals són necessàries per una planta de 100.00t/any de formol. Altrament, aquesta forma jurídica ens donarà la solvència i el prestigi necessaris per obrir pas en el mercat químic internacional, garantint una separació total entre el patrimoni personal dels socis i els riscos operatius d'una activitat productiva a gran escala d'aquestes característiques.

## 7.3 Estudi de mercat

L'objectiu d'aquest apartat és fer un estudi de mercat del formol, producte que MethaForm comercialitzarà. Mitjançant aquest anàlisi, s'identificaran els principals sectors de consum i quines tendències de creixement segueix, per tal d'establir les bases estratègiques a seguir.

Apart del producte final, s'estudiaran les matèries primeres, les quals condicionaran la rendibilitat del projecte. S'avaluarà la volatilitat o dependència logística d'aquestes.

Per concloure, es realitzarà un anàlisi DAFO. Aquesta eina ens permetrà contraposar les fortaleses i debilitats del disseny de MethaForm amb els reptes de l'entorn industrial, obtenint una base sòlida per a una millor presa de decisions.

### 7.3.1 Anàlisi del producte

#### *Aplicacions*

El producte que genera MethaForm és formaldehid en solució aquosa, el qual és coneix com formol estabilitzat. Aquest està compost en un 37% màssic de formaldehid, un 10% màssic de metanol i la resta d'aigua. La fracció de metanol és molt important, ja que actua com a agent estabilitzant. El metanol inhibeix la tendència del formaldehid a polimeritzar i precipitar en forma de paraformaldehyd sòlid a temperatures relativament baixes. Aquesta addició ens ofereix un producte que manté el seu estat líquid i transparent, facilitant el seu emmagatzematge prolongat i permetent la distribució a gran escala mitjançant camions cisterna o transport multimodal.

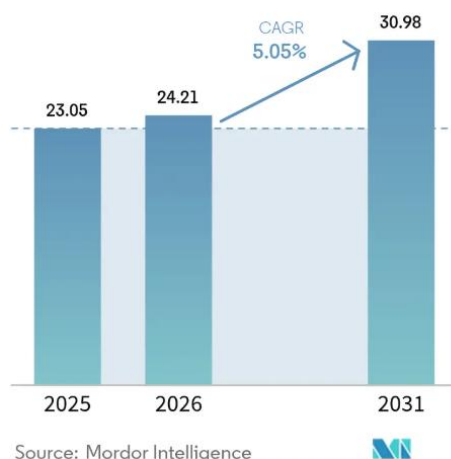
A nivell de mercat, el formaldehid representa un pilar fonamental dins la indústria química, actuant com a intermediari en la síntesi de compostos d'alt valor afegit. La indústria de la fusta i la construcció representa el principal volum de consum global, ja que el formol és el precursor directe de moltes resines termoestables com l'urea-formaldehyd, fenol-formaldehyd i melamina-formaldehyd. Aquestes són els adhesius aglomerants imprescindibles en la fabricació de taulells, contraxapats i materials d'aïllament. Per altra banda, el sector de l'automoció té una considerable demanda, s'empra el formaldehid per a la producció de plàstics d'alta resistència, com el polioximetilè (POM), i com a pas previ en la cadena de síntesi de poliuretans destinats a alleugerir el pes dels vehicles.

Apart d'aquestes dos grans vessants comercials, el producte manté una presència constant en sectors més especialitzats. Per les seves notables propietats biocides, fraccions menors de la producció comercial es dirigeixen al sector sanitari i a la química de consum, intervenint en la formulació de desinfectants, conservants, tractaments tèxtils i en diversos processos de síntesi farmacèutica. En conjunt, MethaForm ofereix una matèria primera base estabilitzada, enfocada a abastir de manera ininterrompuda un ampli espectre de clústers industrials.

#### *Situació actual del mercat i previsions futures*

El mercat del formaldehid es pot analitzar des de tres punts de vista: com es transforma el producte, en quines indústries s'utilitza i en quines zones del món es ven més. Actualment, és un sector dominat per uns quants gegants industrials (com BASF, Celanese o Hexion), les quals parteixen amb l'avantatge de produir la seva pròpia matèria primera (el metanol). Tot i ser un mercat ja madur, s'està renovant completament a causa de les noves lleis mediambientals a Europa i els EUA, que obliguen a fabricar productes molt més nets i amb menys emissions.

Segons les dades de *Mordor Intelligence*, s'espera que la producció mundial passi dels 24,21 milions de tones el 2026 fins a superar els 30 milions l'any 2031. Això representa un creixement anual constant d'un 5,05%, tal com es pot veure a la *Figura 7.1*. Aquest augment demostra que, malgrat les traves ambientals, el formaldehid segueix sent una peça clau per a l'economia.



*Figura 7.1 Evolució prevista del volum de mercat (2025-2031)*

Aquesta tendència a l'alça en el volum de mercat s'explica per la dependència creixent de sectors industrials clau on, com s'ha detallat anteriorment en l'apartat d'aplicacions, el formaldehid actua com un component insubstituïble. La construcció i la fabricació de mobles representen el motor principal de la demanda, essent gairebé el 50% de la quota de mercat a causa de l'elevat ús de resines per a la producció de taulells d'aglomerat i MDF; una tendència que es manté sòlida gràcies al ritme constant d'edificació i reformes a escala global.

Per un altre costat, l'automoció pateix un creixement més dinàmic; l'augment dels vehicles elèctrics ha obligat als fabricants a buscar materials que permetin reduir el pes total del vehicle per optimitzar l'autonomia de les bateries, fet que ha disparat l'adopció de termoplàstics d'alta resistència com el POM. Finalment, l'estabilitat del sector es veu reforçada per altres usos essencials que garanteixen un consum constant independentment de la situació econòmica, com és el cas de l'agricultura, mitjançant fertilitzants de lliurament lent, i el sector sanitari, on el formaldehid segueix sent una peça fonamental per a la desinfecció i la fabricació de vacunes.

Pel que fa a la distribució del volum de negoci, el focus d'atenció se situa indiscutiblement a la regió d'Àsia-Pacífic. Aquesta ha passat de ser un mercat emergent a ser l'eix central que concentra el 51,88% de la demanda global.

El seu ritme d'expansió, amb una CAGR del 5,8%, condiciona el flux mundial de matèries primeres, com es pot analitzar a la *Figura 7.2*. Aquest escenari obliga a qualsevol nou projecte industrial a posicionar-se de manera molt precisa per no quedar fora d'una competència cada cop més globalitzada.



*Figura 7.2 Taxa de creixement del mercat del formaldehid per regions (2026-2031)*

Per posar punt i final a l'anàlisi, la *Figura 7.3* sintetitza els indicadors clau i els líders del sector. L'hegemonia de la urea-formaldehid (UF) en la quota de mercat valida l'estratègia de MethAform: la concentració al 37% no és només un estàndard tècnic, sinó una decisió comercial clau per alinear-se amb el segment de més facturació. Aquest enfocament permet abastir directament els fabricants d'adhesius, fet que minimitza els processos intermedis i maximitza la rendibilitat global del projecte.

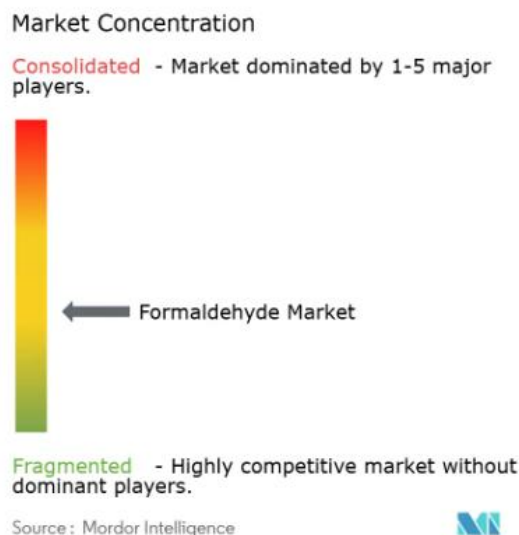
#### Visión General del Mercado

|                                   |                             |
|-----------------------------------|-----------------------------|
| Período de Estudio                | 2020 - 2031                 |
| Volumen del Mercado (2026)        | 24.21 Millones de toneladas |
| Volumen del Mercado (2031)        | 30.98 Millones de toneladas |
| Tasa de crecimiento (2026 - 2031) | 5.05% CAGR                  |
| Mercado de Crecimiento Más Rápido | Asia-Pacífico               |
| Mercado Más Grande                | Asia-Pacífico               |
| Concentración del Mercado         | Medio                       |

*Figura 7.3 Resum dels indicadors clau i principals empreses del sector (2025)*

### 7.3.2 Competència de mercat

L'anàlisi de la competència ens mostra que el formaldehid és un mercat amb una concentració moderada, aquest està liderat per grans corporacions que prioritzen la integració vertical i la presència global. Tal com s'observa a la *Figura 7.4*, l'indicador de fragmentació se situa en una zona clarament consolidada, on els principals actors utilitzen les economies d'escala com a barrera d'entrada.



*Figura 7.4 Grau de consolidació i fragmentació del mercat global del formaldehid.*

Aquest panorama es veu reflectit en les grans empreses productores de formaldehid, recollides a la *Figura 7.5*, on destaquen empreses com Celanese, Hexion, Metafrax, BASF o Bakelite Synthetics. Aquests líders no només dominen el volum de producció mundial, sinó que marquen el rumb tecnològic del sector mitjançant el desenvolupament de catalitzadors de molibdat d'alta selectivitat i l'ús de bio-metanol. Un cas paradigmàtic és el d'Hexion, que ja lidera la transició cap a la descarbonització amb acords que permeten reduccions del 28% en les seves emissions de carboni.



*Figura 7.5 Principals empreses líders en la indústria del formaldehid.*

En aquest escenari de grans estructures diversificades, MethaForm no competeix per tenir un volum massiu ni molts derivats. La seva fortalesa és la proximitat amb els clients i la capacitat de prendre decisions de manera ràpida. Les multinacionals com BASF o Celanese han de gestionar cadenes de subministrament complexes i mercats de tot el món, mentre que MethaForm es concentra a oferir un servei personalitzat als clients de la regió. Això permet que els clients rebin un servei de “quilòmetre zero”, amb una flexibilitat que les grans empreses no sempre poden oferir.

MethaForm es posiciona com un company de confiança per als clients de la regió, oferint un servei excel·lent i subministraments fiables. Aquests elements fan que l'empresa pugui consolidar la seva posició en un mercat molt competitiu.

### 7.3.3 Mercat de les matèries primeres i auxiliars

La planta MethaForm depèn directament de la disponibilitat de metanol, ja que és la matèria primera principal i té un pes aproximat del 70% dels costos variables. El mercat global de metanol està en fase total d'expansió, amb un creixement de la demanda esperada del 115,92 milions (any 2025) als 143,74 (any 2031). Aquesta esperada crescuda es veu iniciada per la seva versatilitat com a combustible i precursor químic.

Si ens centrem en el cost del metanol, el preu del metanol a Europa (ECP) pel segon trimestre de 2026 s'ha situat als 850 €/t segons el preu contractual de referència Methanex. Aquesta xifra, però, s'ha de contextualitzar com un pic de volatilitat, ja que contrasta amb les previsions d'altres anàlisis sectorials i sèries històriques d'entitats com l'ICIS o el Methanol Institute, on els preus s'han mantingut tradicionalment en una forquilla d'entre 400 €/t i 550 €/t durant els darrers exercicis.

Tot i la inestabilitat actual del mercat energètic, a MethaForm s'ha optat per establir un cost de 450 €/t. Aquesta xifra, seleccionada com a escenari base per a la vida útil de la planta, es justifica per les economies d'escala en la negociació de contractes industrials de gran volum i per l'avantatge competitiu que suposa la proximitat logística al clúster de Tarragona. On es troben centres d'importació i la futura Ecoplanta de Repsol la qual suposarà una logística molt eficaç, amb costos de transport força reduïts.

Més enllà de la matèria primera, el reactor de MethaForm necessita el catalitzador d'òxids de Ferro-Molibdè. Tot i que no es consumeix de manera constant, el seu pes en els costos d'operació és important. Això és perquè el llit catalític s'ha de canviar completament cada 18-24 mesos per mantenir una selectivitat alta.

Aquesta inversió es justifica perquè millora el rendiment del metanol i redueix la formació de subproductes com el monòxid de carboni o l'àcid fòrmic. El metall té un valor residual alt, cosa que permet recuperar-lo i reciclar-lo a través d'empreses especialitzades. Això redueix el cost net de la reposició i fa que la planta sigui més sostenible.

### 7.3.4 Anàlisi DAFO

Per a finalitzar l'estudi de mercat, s'ha realitzat una matriu DAFO (Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats). Aquest diagnòstic ens permetrà identificar els punts febles com els riscos inherents a la volatilitat del metanol i avantatges competitius com la ubicació.

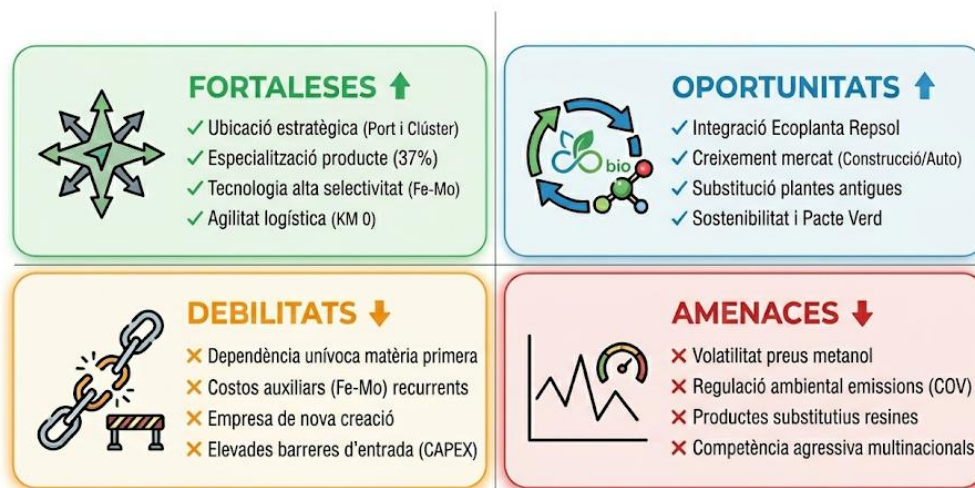


Figura 7.6 Matriu DAFO de la planta Methaform.

L'anàlisi de la planta MethaForm (Figura 7.6) mostra que el projecte té una base tecnològica i logística sòlida, però està exposat als canvis del mercat global de matèries primeres. La ubicació a Tarragona és un avantatge important, ja que permet una logística eficient i una integració directa amb l'Ecoplanta de Repsol. Això no només estalvia costos de transport, sinó que també permet a la planta ser més sostenible mitjançant l'ús de materials reciclats.

D'altra banda, el projecte és vulnerable perquè és una empresa nova amb un alt cost de creació. Per competir amb les grans multinacionals, l'estratègia ha de centrar-se en la alta eficiència del catalitzador de Ferro-Molibdè, que permet produir un producte especialitzat de màxima puresa. En resum, la planta MethaForm ha de ser capaç d'aprofitar les normatives mediambientals i el creixement dels sectors de la construcció i l'automoció per consolidar-se en el mercat i substituir les plantes de tecnologia obsoleta.

Amb aquesta anàlisi, s'ha acabat aquest apartat d'estudi de mercat. Després d'haver analitzat l'entorn competitiu, la demanda i l'aprovisionament de matèries primeres, s'han establert les bases necessàries per valorar econòmicament la planta en els següents apartats.

## 7.4 Valoració econòmica de la planta

En aquest apartat es desenvolupen els càlculs necessaris per quantificar la inversió requerida, els costos d'operació i la rendibilitat del projecte MethaForm. L'estimació de la inversió inicial es divideix en el capital immobilitzat que comprèn els equips, les instal·lacions i el terreny i el capital circulant. La metodologia segueix una estructura factorial: a partir del cost dels equips adquirits (mètode de Sinnott & Towler) s'escalen la resta de partides mitjançant factors d'instal·lació, i la rendibilitat final s'avalua mitjançant el mètode de Vian sobre els fluxos nets de caixa al llarg de la vida útil de la planta.

### 7.4.1 Capital immobilitzat (cost dels equips adquirits)

El capital immobilitzat (CI) és la partida d'inversió destinada a l'adquisició de terrenys, edificis, equips i instrumentació. Amb l'excepció del terreny, és un capital amortitzable que perd valor amb l'ús i l'envelliment dels actius. L'estimació del cost dels equips principals de procés es realitza mitjançant les correlacions exponencials de Sinnott & Towler.

#### *Metodologia de Sinnott & Towler*

El cost base de compra de l'equip, a condicions estàndard (acer al carboni, pressió atmosfèrica) i referit a l'any base de la correlació (gener de 2010), s'expressa segons l'Equació 7.1:

$$C_e = a + b \cdot S^n$$

*Equació 7.1. Cost base de compra de l'equip*

On  $C_e$  és el cost base en USD (2010);  $a$  i  $b$  són les constants de correlació de cada tipus d'equip;  $S$  és el paràmetre de capacitat (volum en  $m^3$ , àrea en  $m^2$  o potència en kW); i  $n$  és l'exponent de cost.

Atès que les constants estan referides a gener de 2010, és obligatori corregir el valor per la inflació acumulada fins a l'any d'exercici (2026) (Equació 7.2) mitjançant l'índex CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index):

$$C_{2026} = C_e \cdot (CEPCI_{2026} / CEPCI_{2010})$$

*Equació 7.2. Correcció temporal per índex de costos*

$CEPCI_{2010} = 532,9$  com a índex de referència de la taula de Sinnott & Towler. Finalment, el cost adquirit final es corregeix pels factors constructius i de divisa (Equació 7.3):

$$C_F = C_{2026} \cdot f_m \cdot F_E$$

*Equació 7.3. Cost adquirit final corregit*

D'igual manera, cal tenir en compte que en calcular el cost dels equips amb el mètode Sinnott & Towler s'estima el preu d'aquests amb acer al carboni com a material de construcció, és per això que es necessari aplicar un factor d'encariment segons el material de construcció de cada equip (veure Taula 7.1).

Taula 7.1. Factor encariment preu per material de construcció.

| Material           | $f_m$ |
|--------------------|-------|
| (ASTM A36)         | 1,0   |
| (Vinilèster)       | 1,4   |
| (Bimetàl·lic 316L) | 2,1   |

On:

$f_m$  és el factor de material.

FE el factor de conversió de divisa. S'adopta una taxa de canvi USD/EUR de 0,87 €/\$.

#### 7.4.1.1 Desglossament del cost d'equips per àrees operatives

Àrea A-100: Aquesta àrea engloba les operacions logístiques de recepció i emmagatzematge de la matèria primera principal, el metanol. Donada la necessitat de garantir l'abastiment ininterromput a la planta, s'ha dissenyat un parc de tancs (TE-101 a TE-104) amb capacitat suficient per absorbir les fluctuacions del subministrament. Com que el metanol pur a temperatura ambient no presenta problemes severs de corrosió, l'equipament d'aquesta àrea s'ha pressupostat considerant acer al carboni estàndard (ASTM A36), la qual cosa permet optimitzar la inversió inicial mantenint els estàndards de seguretat pertinents per a líquids inflamables (veure Taula 7.2).

Taula 7.2. Costos d'equips de l'Àrea A-100 — Emmagatzematge de metanol i descàrrega

| Codi                                            | Descripció de l'equip            | Paràmetre (S)        | Ce2026        | $f_m$          | Cost final (€) |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------|---------------|----------------|----------------|
| TE-101                                          | Tanc d'emmagatzematge de metanol | 397,7 m <sup>3</sup> | 162.480,33 \$ | 1,0 (ASTM A36) | 141.287 €      |
| TE-102                                          | Tanc d'emmagatzematge de metanol | 397,7 m <sup>3</sup> | 162.480,33 \$ | 1,0 (ASTM A36) | 141.287 €      |
| TE-103                                          | Tanc d'emmagatzematge de metanol | 397,7 m <sup>3</sup> | 162.480,33 \$ | 1,0 (ASTM A36) | 141.287 €      |
| TE-104                                          | Tanc d'emmagatzematge de metanol | 397,7 m <sup>3</sup> | 162.480,33 \$ | 1,0 (ASTM A36) | 141.287 €      |
| P-101 ( $C_{\text{bomba}} + C_{\text{motor}}$ ) | Bomba centrífuga d'alimentació   | 0,604 kW             | 13.629,61 \$  | 1,0 (ASTM A36) | 11.851 €       |
| P-102 ( $C_{\text{bomba}} + C_{\text{motor}}$ ) | Bomba centrífuga (reserva)       | 0,604 kW             | 13.629,61 \$  | 1,0 (ASTM A36) | 11.851 €       |
| <b>Subtotal de l'àrea</b>                       | <b>588.852 €</b>                 |                      |               |                |                |

Àrea A-200: El seu objectiu principal és adequar les condicions termodinàmiques del metanol i l'aire abans d'introduir-los al reactor. El cost d'aquesta àrea ve fortament dominat per l'adquisició del turbocompressor centrífug d'aire (K-201). Amb una potència de disseny de 3.250 kW, aquest equip és el cor mecànic de la planta, encarregat de vèncer tota la pèrdua de càrrega del circuit. Complementàriament, els bescanviadors (E-201 i E-202) operen com a elements clau per a la recuperació tèrmica i la gasificació de la mescla reactiva (veure *Taula 7.3*).

*Taula 7.3. Costos d'equips de l'Àrea A-200 — Vaporització i condicionament de reactius*

| Codi                      | Descripció de l'equip            | Paràmetre (S)       | Ce2026          | $f_m$          | Cost final (€) |
|---------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------|----------------|----------------|
| K-201                     | Turbocompressor centrífug d'aire | 3250 kW             | 4.402.596,68 \$ | 1,0 (ASTM A36) | 3.828.344,94 € |
| E-201                     | Vaporitzador de metanol          | 41,8 m <sup>2</sup> | 46.788,63 \$    | 1,0 (ASTM A36) | 40.685,77 €    |
| E-202                     | Preescalfador d'aire de procés   | 33,2 m <sup>2</sup> | 45.154,85 \$    | 1,0 (ASTM A36) | 39.265,09 €    |
| ME-201                    | Mesclador estàtic de reactius    | 13.620 L/s          | 78.210,91 \$    | 1,0 (ASTM A36) | 68.009,49 €    |
| <b>Subtotal de l'àrea</b> | <b>3.976.305,28 €</b>            |                     |                 |                |                |

Àrea A-300: El nucli del procés FORMOX es desenvolupa a l'Àrea 300, on s'allotja el reactor catalític multitubular (R-301) i el circuit tancat de recuperació entàlpica mitjançant oli tèrmic (Dowtherm A). La inversió en aquesta secció es degut a l'alta complexitat metal·lúrgica exigida. Ateses les elevades temperatures d'operació i la presència de subproductes altament corrosius fase gas, s'ha aplicat un factor de material ( $f_m = 2,1$ ) a tots els equips per garantir la seva construcció en acer inoxidable bimetàl·lic (AISI 316L) (veure *Taula 7.4*).

*Taula 7.4. Costos d'equips de l'Àrea A-300 — Reacció i recuperació tèrmica*

| Codi                      | Descripció de l'equip          | Paràmetre (S)        | Ce2026        | $f_m$                  | Cost final (€) |
|---------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------|------------------------|----------------|
| R-301                     | Reactor catalític multitubular | 9,40 m <sup>3</sup>  | 345.418,68 \$ | 2,1 (Bimetàl·lic 316L) | 630.764,56 €   |
| E-301                     | Bescanviador                   | 177,1 m <sup>2</sup> | 78.281,73 \$  | 2,1 (Bimetàl·lic 316L) | 142.949,25 €   |
| E-302                     | Refredador de gasos            | 148,7 m <sup>2</sup> | 71.043,08 \$  | 2,1 (Bimetàl·lic 316L) | 129.730,84 €   |
| <b>Subtotal de l'àrea</b> | <b>903.444,64 €</b>            |                      |               |                        |                |

Àrea A-400: Aquesta secció té una doble finalitat: recuperar la màxima quantitat de formaldehid gasós per obtenir la solució de formalina i, paral·lelament, garantir el tractament de les emissions per complir amb la normativa mediambiental. S'hi inclouen les massives columnes d'absorció (CA-401 i CA-402), pressupostades a partir de la seva massa estructural, i el paquet d'oxidació catalítica (CATOX-1401). Aquest darrer s'ha valorat com una unitat pre-dissenyada de mercat (1.000.000 €), ja que integra cremadors, recuperadors de calor i un monòlit de platí necessari per abatre els compostos orgànics volàtils (COV) abans de l'emissió a l'atmosfera (veure *Taula 7.5*).

*Taula 7.5. Costos d'equips de l'Àrea A-400 — Absorció i purificació de gasos*

| Codi                      | Descripció de l'equip                  | Paràmetre (S)       | Ce2026          | f <sub>m</sub>         | Cost final (€) |
|---------------------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------|------------------------|----------------|
| CA-401                    | Torre d'absorció primària              | 13.416 kg           | 169.953,43 \$   | 1,0 (ASTM A36)         | 147.785,60 €   |
| CA-402                    | Torre d'absorció secundària            | 8.670 kg            | 124.278,03 \$   | 1,0 (ASTM A36)         | 108.067,85 €   |
| E-401                     | Refredador de capçal d'absorció        | 60,0 m <sup>2</sup> | 50.462,18 \$    | 1,0 (ASTM A36)         | 43.880,15 €    |
| ME-401                    | Mesclador de rentat hidràulic          | 15,0 L/s            | 5.908,15 \$     | 2,1 (Bimetàl·lic 316L) | 10.788,79 €    |
| K-401                     | Ventilador de gasos de cap             | 1.200 kW            | 2.789.217,32 \$ | 1,0 (ASTM A36)         | 2.425.406,36 € |
| CATOX-1401                | Unitat d'oxidació catalítica (package) | —                   | —               | —                      | 1.000.000 €    |
| <b>Subtotal de l'àrea</b> | <b>3.735.928,75 €</b>                  |                     |                 |                        |                |

Àrea A-500 : Un cop assolida la concentració objectiu del 37%, la formalina s'envia al parc de tancs de producte acabat (TE-501 i TE-502). A diferència de l'emmagatzematge de metanol, la formalina presenta tendència a la polimerització i té un caràcter lleugerament àcid. Per aquest motiu, tot i dimensionar els tancs en acer al carboni per abaratir costos estructurals, s'ha aplicat un increment financer per contemplar l'addició d'un recobriment intern d'alta protecció a base de resines de vinilèster, assegurant així la puresa del producte abans de la seva expedició (veure *Taula 7.6*).

*Taula 7.6. Costos d'equips de l'Àrea A-500 — Emmagatzematge de producte final*

| Codi   | Descripció de l'equip          | Paràmetre (S)          | Ce2026        | f <sub>m</sub>   | Cost final (€) |
|--------|--------------------------------|------------------------|---------------|------------------|----------------|
| TE-501 | Tanc de formalina (sostre fix) | 1021,02 m <sup>3</sup> | 183.834,79 \$ | 1,4 (Vinilèster) | 373.217,67 €   |

| Codi                              | Descripció de l'equip          | Paràmetre (S)          | Ce2026        | f <sub>m</sub>   | Cost final (€) |
|-----------------------------------|--------------------------------|------------------------|---------------|------------------|----------------|
| TE-502                            | Tanc de formalina (sostre fix) | 1021,02 m <sup>3</sup> | 183.834,79 \$ | 1,4 (Vinilèster) | 373.217,67 €   |
| P-501 ( $C_{bomba} + C_{motor}$ ) | Bomba de càrrega i lliurament  | 4,0 L/s                | 14.070,50 \$  | 1,0(ASTM A36)    | 11.189,11 €    |
| P-502 ( $C_{bomba} + C_{motor}$ ) | Bomba de càrrega (reserva)     | 4,0 L/s                | 14.070,50 \$  | 1,0(ASTM A36)    | 11.189,11 €    |
| <b>Subtotal de l'àrea</b>         | <b>770.905,76 €</b>            |                        |               |                  |                |

Àrea A-700: Serveis auxiliars i dissipació, agrupa la generació i distribució dels fluids de servei essencials. En aquesta partida es pressuposten equips com la caldera d'oli tèrmic per a les operacions d'arrencada, la torre de refrigeració (TR-701), i els sistemes de compressió d'aire d'instruments per a les vàlvules automàtiques (veure *Taula 7.7*).

*Taula 7.7. Costos d'equips de l'Àrea A-700 — Serveis auxiliars i dissipació*

| Codi                      | Descripció de l'equip               | Paràmetre (S) | Ce2026        | f <sub>m</sub> | Cost final (€) |
|---------------------------|-------------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|
| CL-701                    | Caldera d'oli tèrmic (Pirobloc)     | 458 kW        | 61.787,79 \$  | 1,0 (ASTM A36) | 53.728,51 €    |
| TR-701                    | Torre de refrigeració de tir forçat | 8.83 L/s      | 264.756,40 \$ | 1,0(ASTM A36)  | 230.222,96 €   |
| LN2                       | Tanc criogènic de nitrogen líquid   | 5378 Kg       | 193.143,04 \$ | 1,0(ASTM A36)  | 167.950,47 €   |
| K-701                     | Compressor d'aire                   | 18 kW         | 22.562,53 \$  | 1,0(ASTM A36)  | 19.619,59 €    |
| K-702                     | Compressor d'aire                   | 18 kW         | 22.562,53 \$  | 1,0(ASTM A36)  | 19.619,59 €    |
| GE-701                    | Generador elèctric                  | 1000 kW       | 45.949,40 \$  | 1,0(ASTM A36)  | 39.956,00 €    |
| TA-1601                   | Tanc d'aigua d'incendis             | —             | —             | —              | 184.000 €      |
| <b>Subtotal de l'àrea</b> | <b>715.097,12 €</b>                 |               |               |                |                |

La següent taula presenta la consolidació sectorial dels pressupostos. El 72% del cost total recau sobre les àrees de vaporització (200) i d'absorció (400), posant de manifest que el cost fonamental d'una planta FORMOX no resideix únicament en el reactor, sinó en la gran capacitat de maneig pneumàtic de gasos i el subsegüent tractament d'emissions. El valor obtingut de 10,69 milions d'euros conforma l'equipament base ( $I_1$ ) (veure *Taula 7.8*).

Taula 7.8. Resum general de costos adquirits per àrees operatives

| Àrea                          | Descripció funcional                      | Cost adquisició (€) | Pes (%) |
|-------------------------------|-------------------------------------------|---------------------|---------|
| A-100                         | Emmagatzematge de metanol i descàrrega    | 588.852,64 €        | 5,51%   |
| A-200                         | Vaporització i condicionament de reactius | 3.976.305,28 €      | 37,19%  |
| A-300                         | Reacció i recuperació tèrmica             | 903.444,64 €        | 8,45%   |
| A-400                         | Absorció i purificació de gasos           | 3.735.928,75 €      | 34,95%  |
| A-500                         | Emmagatzematge de producte final          | 770.905,76 €        | 7,21%   |
| A-700                         | Serveis auxiliars i dissipació            | 715.097,12 €        | 6,69%   |
| <b>TOTAL EQUIPS ADQUIRITS</b> | <b>10.690.534,19 €</b>                    | <b>100,00%</b>      |         |

El cost total dels equips adquirits de la planta MethaForm ascendeix a **10.690.534,19 €**. Aquest valor constitueix la base (Purchased Equipment Cost, PEC) sobre la qual s'escalaran factorialment la resta de partides d'inversió.

### 7.4.1.2 Terrenys

La superfície total que ha d'assumir MethaForm és de 15.795,7 m<sup>2</sup>, distribuïda entre les diferents àrees de procés, serveis, oficines i zones logístiques. Amb un preu de referència de 300 €/m<sup>2</sup> per a la zona<sup>1</sup>, el cost del terreny calculat amb l'Equació 7.4 és:

$$C_{\text{terreny}} = 15.795,7 \text{ m}^2 \cdot 300 \text{ €/m}^2 = 4.738.710 \text{ €}$$

Equació 7.4. Cost d'adquisició del terreny

El terreny és l'única partida del capital immobilitzat no amortitzable, i el seu valor es recupera íntegrament al final de la vida útil del projecte.

### 7.4.1.3 Mètode de Vian (Capital Immobilitzat )

Un cop determinat el cost d'adquisició dels equips principals, cal estimar el cost real d'instal·lació i integració per conformar el **Capital Immobilitzat**. Aquest valor representa el capital total necessari per dissenyar, construir i deixar la planta totalment operativa i a punt per a la posada en marxa.

Per a dur a terme aquesta estimació s'ha aplicat el **Mètode de Vian**. Aquest mètode destaca per la seva precisió, ja que, a diferència del mètode de Lang, desglossa de manera additiva i seqüencial les diferents partides del capital secundari físic, evitant la duplicitat de costos. El mètode estableix percentatges empírics d'instal·lació referenciats al cost d'adquisició dels equips ( $I_1$ ).

<sup>1</sup> El preu de referència del m<sup>2</sup> de terreny s'ha determinat en base a diverses pàgines web de venda de terrenys de Tarragona (veure bibliografia nº [14]).

- **Cost d'adquisició dels equips ( $I_1$ ):** Representa el cost base (ISBL) calculat al subapartat anterior mitjançant el mètode de Sinnott & Towler, amb un valor actualitzat de **10.690.534,19 €**.
- **Cost d'instal·lació de la maquinària ( $I_2$ , 35% de  $I_1$ ):** Aquesta partida és vital i contempla els treballs mecànics pesants. Inclou el lloguer de maquinària d'elevació especial per posicionar les columnes d'absorció massives (CA-401 i CA-402, que arriben als 14 metres d'alçada), l'acoblament de precisió del reactor multitubular R-301 de 4 metres de diàmetre, i la col·locació i anivellament de tot el parc de tancs d'emmagatzematge (com els TE-501/502 de 1.000 m<sup>3</sup> cadascun).
- **Canonades, vàlvules i accessoris (60% de  $I_1$ ):** Un factor elevat (típic en plantes de fluids altament integrades). El procés requereix un dens entramat de canonades de gran diàmetre i, sobretot, l'ús massiu de metal·lúrgies especials (Acer Inoxidable AISI 316L) a l'Àrea 300 i 400 per suportar la corrosivitat de la formalina i les traces d'àcid fòrmic a temperatures elevades, disparant el cost relatiu d'aquesta partida.
- **Instrumentació, control i automatització (15% de  $I_1$ ):** Una planta d'oxidació parcial amb metanol pur presenta un alt risc d'explosió i embalament tèrmic (*runaway*). Això exigeix un Sistema de Control Distribuït (DCS) complex, vàlvules de control automàtiques (FCV, TCV), analitzadors de gas en línia i sistemes d'aturada d'emergència (ESD) instrumentats de categoria SIL.
- **Aïllament tèrmic i pintura (6% de  $I_1$ ):** Partida fonamental per a l'eficiència i la seguretat. El reactor R-301 i tot el circuit de transferència amb oli tèrmic Dowtherm A treballen a temperatures properes als 260 °C, requerint calorifugats d'alta densitat de llana de roca amb revestiment d'alumini per evitar pèrdues energètiques i protegir el personal.
- **Instal·lacions elèctriques i transformació (10% de  $I_1$ ):** Inclou els centres de transformació i la distribució de potència de la planta, condicionada principalment pel gran consum del turbocompressor d'aire principal (K-201, 3.250 kW) i per l'obligatorietat d'utilitzar motors elèctrics amb encapsulament antideflagrant i certificació ATEX a tota l'àrea d'emmagatzematge de metanol (Àrea 100).
- **Terrenys i edificis (12% de  $I_1$ ):** Es tindrà en compte el preu del terreny adquirit, juntament amb el 12 % de l'immobilitzat.
- **Instal·lacions auxiliars (25% de  $I_1$ ):** Instal·lacions auxiliars, necessàries pel funcionament de la planta.
- **Enginyeria, disseny i direcció d'obra (10% del Y):** Cobreix els costos globals d'enginyeria conceptual, enginyeria bàsica (FEED), enginyeria de detall (plànols constructius i isometries), 3D *modeling*, legalitzacions ambientals i la supervisió presencial durant l'etapa de construcció (EPC).

- **Contractista (4% de Z):** Es destina un 4% del capital directe (Z), per la figura del contractista, encarregat de tancar contractes i aconseguir millors acords.
- **Fons de contingència i imprevistos (10% de Z):** Fons de reserva per absorbir incerteses d'estimació, oscil·lacions del preu de l'acer als mercats internacionals, demores en el subministrament logístic, i imprevistos meteorològics o laborals durant l'edificació.

Finalment, com a element autònom de la inversió, s'afegeix l'adquisició de la parcel·la industrial. És crucial destacar que el terreny no es veu afectat per cap factor de multiplicació ni pateix depreciació amortitzable, constituint un actiu sòlid recuperable a la fi del cicle de vida de la planta (veure *Taula 7.9*).

**Terreny:** Adquisició de la parcel·la industrial de 15.795,7 m<sup>2</sup>, essent aquest l'únic actiu fix no sotmès a depreciació al llarg de la vida útil de la planta.

*Taula 7.9. Estimació del Capital Físic i Immaterial de MethaForm (Mètode de Vian)*

| Concepte                                              | Factor                              | Cost (€)                |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| $I_1$ . Cost d'Equips Principals                      | Base ISBL                           | <b>10.690.534,19 €</b>  |
| $I_2$ . Cost d'instal·lació de la maquinària          | 35% de $I_1$                        | 3.741.686,97 €.         |
| $I_3$ . Canonades, vàlvules i accessoris (instal·lat) | 60% de $I_1$                        | 6.414.320,51 €.         |
| $I_4$ . Instrumentació i sistemes de control          | 15% de $I_1$                        | 1.603.580,13 €.         |
| $I_5$ . Aïllaments                                    | 6% de $I_1$                         | 641.432,05€.            |
| $I_6$ . Instal·lacions elèctriques                    | 10% de $I_1$                        | 1.069.053,42 €.         |
| $I_7$ . Terrenys i edificis                           | <i>Terreny</i> + 12% de $I_1$       | 6.021.574,10€           |
| $I_8$ . Instal·lacions auxiliars                      | 25% de $I_1$                        | 2.672.633,55€.          |
| <b>Capital Secundari Físic (Y)</b>                    | $\sum I_i$                          | <b>32.854.814,92 €</b>  |
| $I_9$ . Projecte i direcció d'obra i muntatge.        | 10% de Y                            | 3.285.481,49 €          |
| <b>Capital directe ( Z )</b>                          | Y+ $I_9$                            | <b>36.140.296,41 €</b>  |
| $I_{10}$ . Contractista                               | 4% de Z                             | 1.445.611,86 €.         |
| $I_{11}$ . Imprevistos / contingència (10%)           | 10% de Z                            | 3.614.029,64€.          |
| <b>CAPITAL IMMOBILITZAT TOTAL</b>                     | <b>Z + Contractista+Imprevistos</b> | <b>41.199.937,91 €.</b> |

### 7.4.2 Capital Circulant

L'operació contínua de la planta exigeix disposar de fons de liquiditat que cobreixin el decalatge entre la despesa per les compres inicials (metanol, sous i serveis) i els ingressos de les primeres vendes facturades de formalina.

El capital circulant es pot calcular mitjançant dos mètodes, el mètode de cicle de producció o el mètode global. S'escull el mètode global degut a que tots dos mètodes presenten poc error i per tant s'escull el mètode més simple.

Aquest import es coneix com a “*Capital Circulant*” i, per a la indústria química, s'acostuma a establir com un **15% del Capital Immobilitzat Total** (calculat amb Equació 7.5).

$$C = 41.199.937,91 \text{ €} \cdot 0,15 = 6.179.990,69 \text{ €}$$

Equació 7.5. Capital immobilitzat

### 7.4.3 Posada en marxa

Per estimar el cost de posada en marxa, es considera un 5% del capital immobilitzat. Aquesta quantia ha de permetre assumir el consum de reactius, la mà d'obra addicional i les adaptacions o reparacions pròpies de la fase inicial d'operació (calculat amb Equació 7.6).

$$C_{\text{posada en marxa}} = 0,05 \cdot C_{\text{nmobilitzat}} = 0,05 \cdot 41.199.937,91 \text{ €} = 2.059.996,90 \text{ €}$$

Equació 7.6. Posada en marxa

### 7.4.4 Inversió inicial (CAPEX)

El capital total requerit per a la inversió inicial es calcula a partir de la suma del capital immobilitzat, el capital circulant i les despeses associades a la posada en marxa. El desglossament detallat d'aquestes partides econòmiques i el muntant global es presenten a la Taula 7.9.

Taula 7.9. Inversió inicial a MethaForm

| ÍTEM                        | VALOR (€)              |                        |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| Capital immobilitzat        | <b>41.199.937,91 €</b> |                        |
| Capital circulant           | <b>6.179.990,69 €</b>  |                        |
| Posada en marxa             | <b>2.059.996,90€</b>   |                        |
| <b>INVERSIÓ INICIAL (€)</b> | <b>Σ</b>               | <b>49.439.925,50 €</b> |

## 7.5 Estimació dels costos de producció (OPEX)

Els costos d'operació anuals s'estimen per a una capacitat de 100.000 t/any de formalina 37% i un règim de 7920 hores anuals de funcionament. Es divideixen en costos de fabricació i els costos generals. Aquests costos son necessaris per tal de garantir el funcionament de la planta.

## 7.5.1 Costos de fabricació

Els costos de fabricació es basen en tres factors que influeixen directament sobre el capital a destinar, els principals costos són els costos de matèria prima, la mà d'obra directa i els serveis.

### 7.5.1.1 Matèria prima

El consum de metanol es determina a partir de l'estequiometria de l'oxidació catalítica ( $\text{CH}_3\text{OH} + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{HCHO} + \text{H}_2\text{O}$ ), amb un rendiment global del 91%, més el metanol incorporat com a estabilitzant (10% màssic del producte).

Per a 37.000 t/any de formaldehid produït, el consum total de metanol és de  $\approx 53.400$  t/any. Amb el preu base de 450 €/t adoptat al Capítol 7.3.3, el metanol representa la partida dominant del cost (veure *Taula 7.10*).

*Taula 7.10. Cost matèria prima*

| Concepte | Base               | Cost anual (€) |
|----------|--------------------|----------------|
| Metanol  | 53.400 t · 450 €/t | 24.030.000     |

### 7.5.1.2 Mà d'obra directa

En aquest apartat es fa referència al sou i costos associats per cada treballador de l'empresa. Per al càlcul de les hores efectives de treball i els costos horaris associats, s'han establert les següents bases de partida, alineades amb els estàndards del sector químic:

- Dies d'operació anuals: La planta està dissenyada per operar un total de 330 dies l'any, permetent així el temps necessari per a les aturades programades, el manteniment preventiu i les inspeccions de seguretat obligatòries.
- Jornada laboral anual (Conveni): Partint d'una jornada setmanal de 40 hores i descomptant els dies festius i de vacances estipulats pel marc legal, s'estableix una jornada anual efectiva de 1.720 hores per treballador. Aquesta xifra s'utilitza com a divisor estàndard per determinar el cost horari unitari de la mà d'obra.

Per garantir que el càlcul del cost de producció (veure *Taula 7.11*) sigui el més precís possible, s'ha seguit una classificació funcional:

1. **Mà d'obra directa (MOD):** Inclou tot el personal que intervé directament en la transformació de matèries primeres en producte final (operaris de planta, tècnics de laboratori, personal de manteniment i supervisors de torn).
2. **Costos d'estructura i gestió (Indirectes):** Inclou els departaments de suport com Direcció, Administració, Recursos Humans i Compres.

Taula 7.11. Llocs directes de treball amb retribució anual i cost per la empresa

| Departament      | Càrrec de treball                               | Personal per torn | Nº de torns | Personal total de plantilla | Salari brut anual per persona | Salari brut anual per plantilla | Seguretat Social anual per persona | Seguretat social anual per plantilla | Cost total anual |
|------------------|-------------------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| <b>Direcció</b>  | Director general de la planta                   | 1                 | 1           | 1                           | 120 k€                        | 120 k€                          | 37,2 k€                            | 37,2 k€                              | 157,2 k€         |
| <b>RR HH</b>     | Cap de departament                              | 1                 | 1           | 1                           | 45 k€                         | 45 k€                           | 13,95 k€                           | 13,95 k€                             | 58,95 k€         |
|                  | Responsable d'administració del personal        | 2                 | 1           | 2                           | 26 k€                         | 52 k€                           | 8,06 k€                            | 16,120 k€                            | 68,12 k€         |
|                  | Responsable de selecció i formació              | 2                 | 1           | 2                           | 26 k€                         | 52 k€                           | 8,06 k€                            | 16,120 k€                            | 68,12 k€         |
| <b>HSE</b>       | Cap de departament                              | 1                 | 1           | 1                           | 42 k€                         | 42 k€                           | 13,02 k€                           | 13,02 k€                             | 55,02 k€         |
|                  | Responsable de la seguretat industrial          | 2                 | 1           | 2                           | 30 k€                         | 60 k€                           | 9,3 k€                             | 18,6 k€                              | 78,6 k€          |
|                  | Tècnic de medi ambient                          | 2                 | 1           | 2                           | 26 k€                         | 52 k€                           | 8,06 k€                            | 16,120 k€                            | 68,12 k€         |
| <b>Financer</b>  | Director financer                               | 1                 | 1           | 1                           | 45 k€                         | 45 k€                           | 13,95 k€                           | 13,95 k€                             | 58,95 k€         |
|                  | Responsable de la comptabilitat i administració | 2                 | 1           | 2                           | 31 k€                         | 62 k€                           | 96,1 k€                            | 19,22 k€                             | 81,22 k€         |
|                  | Controlador i industrial financer               | 1                 | 1           | 1                           | 30 k€                         | 30 k€                           | 9,3 k€                             | 9,3 k€                               | 39,3 k€          |
| <b>Comercial</b> | Cap de departament                              | 1                 | 1           | 1                           | 45 k€                         | 45 k€                           | 13,95 k€                           | 13,95 k€                             | 58,95 k€         |
|                  | Responsable de vendes                           | 2                 | 1           | 2                           | 35 k€                         | 70 k€                           | 10,85 k€                           | 21,7 k€                              | 91,7 k€          |
|                  | Comercials                                      | 4                 | 1           | 4                           | 30 k€                         | 120 k€                          | 9,3 k€                             | 37,2 k€                              | 157,2 k€         |

|             |                                              |   |   |    |       |         |          |          |            |
|-------------|----------------------------------------------|---|---|----|-------|---------|----------|----------|------------|
| Compres     | Cap de departament                           | 1 | 1 | 1  | 45 k€ | 45 k€   | 13,95 k€ | 13,95 k€ | 58,95 k€   |
|             | Responsable de compres                       | 2 | 1 | 2  | 30 k€ | 60 k€   | 9,3 k€   | 18,6 k€  | 78,6 k€    |
|             | Administratiu de compres                     | 4 | 1 | 4  | 27 k€ | 10,8 k€ | 8,37 k€  | 33,48 k€ | 141,48 k€  |
| Logística   | Cap de departament                           | 1 | 1 | 1  | 35 k€ | 35 k€   | 10,85 k€ | 10,85 k€ | 45,85 k€   |
|             | Administratiu de magatzem                    | 3 | 5 | 15 | 26 k€ | 390 k€  | 8,06 k€  | 120,9 k€ | 510,9 k€   |
|             | Tècnics de gestió dels proveïdors            | 3 | 1 | 3  | 28 k€ | 84 k€   | 86,8 k€  | 26,04 k€ | 110,040 k€ |
|             | Tècnics de gestió dels clients               | 3 | 1 | 3  | 28 k€ | 84 k€   | 86,8 k€  | 26,04 k€ | 110,040 k€ |
|             | Planificador de la cadena de subministrament | 3 | 1 | 3  | 30 k€ | 90 k€   | 9,3 k€   | 27,9 k€  | 117,9 k€   |
| I+D         | Cap de departament                           | 1 | 1 | 1  | 45 k€ | 45 k€   | 13,95 k€ | 13,95 k€ | 58,95 k€   |
|             | Tècnic de laboratori                         | 2 | 1 | 2  | 29 k€ | 58 k€   | 89,9 k€  | 17,98 k€ | 75,98 k€   |
|             | Investigadors                                | 2 | 1 | 2  | 32 k€ | 64 k€   | 9,92 k€  | 19,84 k€ | 83,84 k€   |
| Producció   | Cap de departament                           | 1 | 1 | 1  | 50 k€ | 50 k€   | 15,5 k€  | 15,5 k€  | 65,5 k€    |
|             | Responsable de torn                          | 1 | 5 | 5  | 30 k€ | 150 k€  | 9,3 k€   | 46,5 k€  | 196,5 k€   |
|             | Operadors de camp                            | 2 | 5 | 10 | 23 k€ | 23 k€   | 7,13 k€  | 71,3 k€  | 301,3 k€   |
|             | Operadors sala de control                    | 2 | 5 | 10 | 27 k€ | 270 k€  | 8,37 k€  | 83,7 k€  | 353,7 k€   |
| Manteniment | Cap de departament                           | 1 | 1 | 1  | 35 k€ | 35 k€   | 10,85 k€ | 10,85 k€ | 45,85 k€   |

|            |                                   |   |   |    |       |        |          |           |                |
|------------|-----------------------------------|---|---|----|-------|--------|----------|-----------|----------------|
|            | Tècnics de manteniment            | 3 | 5 | 15 | 25 k€ | 375 k€ | 7,75 k€  | 116,25 k€ | 491,25 k€      |
| Qualitat   | Cap de departament                | 1 | 1 | 1  | 32 k€ | 32 k€  | 9,92 k€  | 9,92 k€   | 41,92 k€       |
|            | Tècnics de laboratori             | 2 | 5 | 10 | 26 k€ | 260 k€ | 8,06 k€  | 80,6 k€   | 340,6 k€       |
|            | Tècnic d'assegurament de qualitat | 1 | 5 | 1  | 24 k€ | 24 k€  | 7,44 k€  | 7,44 k€   | 31,44 k€       |
| Enginyeria | Cap de departament                | 1 | 1 | 1  | 51 k€ | 51 k€  | 15,81 k€ | 15,81 k€  | 66,81 k€       |
|            | Enginyers de projectes            | 3 | 1 | 3  | 40 k€ | 120 k€ | 12,4 k€  | 37,2 k€   | 157,2 k€       |
|            | Enginyer de producte              | 3 | 1 | 3  | 38 k€ | 114 k€ | 11,78 k€ | 35,34 k€  | 149,34 k€      |
| Cost total |                                   |   |   |    |       |        |          |           | 4.675.390,00 € |

### 7.5.1.3 Serveis auxiliars

Dins de l'estructura de costos variables d'operació (veure *Taula 7.12*), els serveis auxiliars (utilities) representen el consum energètic i de fluids vitals per mantenir la producció a ple rendiment durant els 330 dies d'operació anuals. La partida més rellevant és el consum d'electricitat, que supera els 6 milions d'euros anuals, impulsat pràcticament en la seva totalitat pel turbocompressor principal d'aire. Així mateix, s'hi inclou la despesa anual de l'aigua de refrigeració, la reposició del fluid tèrmic Dowtherm A degradat i, de gran importància, l'amortització del canvi cíclic del catalitzador de Ferro-Molibdè necessari per mantenir el rendiment del reactor en nivells òptims.

*Taula 7.12. Serveis auxiliars*

| Subministres i serveis         | Cantidad    | € <sup>2</sup>       | € total        |
|--------------------------------|-------------|----------------------|----------------|
| Agua de refrigeración (tn/año) | 237600      | 2,5 €/m <sup>3</sup> | 594.000,00 €   |
| Nitrógeno (tn/año)             | 219,7       | 250 €/tona           | 54.925,00 €    |
| Catalizador (tn/año)           | 7,05        | 10000 €/tona         | 70.500,00 €    |
| Electricidad (kWh/año)         | 54910533,74 | 0,11 €/KWh           | 6.040.158,71 € |
| Aceite térmico (tn/año)        | 129,565     | 5000€/tona           | 647.825,00 €   |
| TOTAL                          |             |                      | 7.407.408,71 € |

<sup>2</sup> El preu d'aquests serveis auxiliars s'ha determinat en base a pàgines web de compra d'aquests productes (consultar nº [15-19] de bibliografia)

### 7.5.1.4 Costos d'Operació Anuals (OPEX)

La viabilitat contínua de MethaForm es pot entendre clarament classificant totes les despeses en Costos de Fabricació (directes) (veure *Taula 7.13*) i Costos Generals (d'estructura) (veure *Taula 7.14*).

D'una banda, els costos de fabricació aglutinen les matèries primeres, els subministraments descrits anteriorment i tota la càrrega salarial de la mà d'obra directa i manteniment. Com és característic en la indústria química de base, la matèria primera (metanol) domina dràsticament aquesta secció, abastant pràcticament un 58% del total dels costos de fabricació de la planta.

*Taula 7.13. Costos de fabricació anuals (OPEX)*

| Paràmetre                        | Base                | Cost anual             |
|----------------------------------|---------------------|------------------------|
| Materies primeres                | <i>Càlcul propi</i> | 24.030.000,00 €        |
| Mà d'obra directa                | <i>Càlcul propi</i> | 4.675.390,00 €         |
| Mà d'obra indirecte              | 15% de MD           | 701.308,50 €           |
| Laboratori                       | 10% de MD           | 467.539,00 €           |
| Conservació                      | 2% de I             | 823.998,76 €           |
| Impostos de fàbrica              | 7% de I             | 2.883.995,65 €         |
| Segurs                           | 0,8% de I           | 329.599,50 €           |
| Subministres i serveis           | <i>Càlcul propi</i> | 7.407.408,71 €         |
| <b>COSTOS DE FABRICACIÓ (CF)</b> | <b>TOTAL</b>        | <b>41.319.240,13 €</b> |

D'altra banda, s'imputen factorialment els costos generals associats a les activitats comercials, l'administració gerencial i l'R+D, elements indispensables per col·locar el producte en un mercat altament competitiu. La suma d'aquests grans blocs macroeconòmics dona com a resultat l'OPEX global del projecte

*Taula 7.14. Costos generals anuals (OPEX)*

| Paràmetre                                 | Base         | Cost anual            |
|-------------------------------------------|--------------|-----------------------|
| Costos comercials                         | 5% de CF     | 2.065.962,01 €        |
| Costos de gerència                        | 2,5% de CF   | 1.032.981,00 €        |
| Costos per investigació i serveis tècnics | 1% de CF     | 413.192,40 €          |
| <b>COSTOS GENERALS (CG)</b>               | <b>TOTAL</b> | <b>3.512.135,41 €</b> |

La suma d'aquests grans blocs macroeconòmics dona com a resultat l'OPEX global del projecte.

*Taula 7.15. Cost anual d'operació (OPEX)*

| Paràmetre            | Cost anual      |
|----------------------|-----------------|
| Costos de fabricació | 41.319.240,13 € |
| Costos generals      | 3.512.135,41 €  |

OPEX

44.831.375,54 €

## 7.6 Ingressos per vendes

L'escenari base d'ingressos es defineix per la venda de la totalitat de la producció 100.000 t/any de formalina 37% estabilitzada (calculat amb *Equació 7.7*).

El preu de venda s'estableix en 600 €/t.

$$\text{Ingressos} = 100.000 \text{ t/any} \cdot 600 \text{ €/t} = 60.000.000 \text{ €/any}$$

*Equació 7.7. Ingressos anuals per vendes*

## 7.7 Rendibilitat del projecte

La viabilitat econòmica s'avalua à mitjançant els Fluxos de caixa nets, que construeix els fluxos nets de caixa del projecte al llarg de tota la seva vida útil i els actualitza per obtenir els indicadors de rendibilitat. Per a cada any d'operació, el flux net de caixa es determina segons l'*Equació 7.8*:

$$\text{NCF} = Ci + Cc + VR + V + C + IB$$

*Equació 7.8. Flux net de caixa anual*

On:

Ci: Capital immobilitzat

Cc: Capital circulant

VR: Valor residual (Terreny)

V: Ventes

C: Costos

IB: Impuestos sobre beneficios

### 7.7.1 Vida Útil i el Valor Residual (VR)

Per a l'avaluació financera de la planta MethaForm, s'ha projectat un horitzó operatiu de 15 anys.

Així mateix, s'ha incorporat a l'anàlisi un Valor Residual (VR) a la fi de la vida útil del projecte. Comptablement, els equips s'amortitzen en 15 anys fins a un valor llibre de zero. No obstant això, des d'una perspectiva d'enginyeria i economia circular, la desmetilació d'una planta d'aquestes característiques suposa la recuperació d'actius d'alt valor.

S'ha establert un Valor Residual estimat de **8.858.703 €**, equivalent aproximadament al 10% de la inversió física de la maquinària i equips purs. Aquest valor prové de la recuperació com a ferralla d'alt grau dels aliatges de níquel, la regeneració del fluid tèrmic Dowtherm A i la recuperació de plata i metalls de transició (Ferro-Molibdè) del darrer llit catalític utilitzat.

Aquest VR s'afegeix com una entrada de caixa positiva a l'any 16, juntament amb la recuperació íntegra del valor del terreny i l'alliberament del fons de maniobra (capital circulant).

### 7.7.2 Amortització

Per tal de calcular l'amortització s'utilitzen totes les parts del capital immobilitzat que perden valor amb el temps, com passa amb els equips, exceptuant el terreny.

L'amortització es una despesa gradual i en el nostre projecte es considerarà que la vida útil de la planta serà de 15 anys. S'aplicarà el mètode d'amortització lineal (calculat amb *Equació 7.9*):

$$A_n = \frac{1}{t} \cdot (I - VR)$$

*Equació 7.9. Cost base de compra de l'equip*

On:

$A_n$  (€/any) = quota d'amortització

t (anys) = temps de vida útil de 15 anys.

I (€) = Capital immobilitzat sense comptar el valor del terreny.

VR (€) = Valor residual que la empresa recuperarà a l'hora de liquidar.

S'obté una quota d'amortització de 2.156.082,27 €

### 7.7.3 Paràmetres de l'anàlisi

*Taula 7.16. Paràmetres financers del projecte*

| Paràmetre                                          | Valor                       |
|----------------------------------------------------|-----------------------------|
| Vida útil operativa                                | 15 anys                     |
| Amortització                                       | Lineal, 15 anys (10% anual) |
| Base amortitzable (FCI de procés)                  | 41.199.937,90€              |
| Tipus impositiu (Impost de Societats)              | 25%                         |
| Recuperacions a l'any 16 (terreny + circulant+ VR) | 11.785.558,9€               |

Taula 7.17. NFC de l'any 0 fins al 9

| Any                      | 0           | 1           | 2           | 3           | 4           | 5           | 6           | 7           | 8           | 9           |
|--------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Capital immobilitzat     | - 41,199 M€ |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Capital circulant        | -6,179 M€   |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Valor residual           |             |             |             |             |             |             |             |             |             |             |
| Ingressos                |             | 60 M€       | 60 M€       | 60 M€       | 60 M€       | 60 M€       | 60 M€       | 60 M€       | 60 M€       | 60 M€       |
| Costes                   |             | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ | - 44,831 M€ |
| Amortització             |             | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  | - 2,156 M€  |
| Beneficio brut           |             | 13,012 M€   | 13,012 M€   | 13,012 M€   | 13,012 M€   | 13,012 M€   | 13,012 M€   | 13,012 M€   | 13,012 M€   | 13,012 M€   |
| Impostos sobre beneficio |             |             | - 3,253 M€  | - 3,253 M€  | - 3,253 M€  | - 3,253 M€  | - 3,253 M€  | - 3,253 M€  | - 3,253 M€  | - 3,253 M€  |
| NCF (€)                  | -47,379 M€  | 15,168 M€   | 11,915 M€   | 11,915 M€   | 11,915 M€   | 11,915 M€   | 11,915 M€   | 11,915 M€   | 11,915 M€   | 11,915 M€   |

Taula 7.18. NFC de l'any 9 fins al 16

| Any                      | 10           | 11           | 12           | 13           | 14           | 15           | 16              |
|--------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| Capital immobilitzat     |              |              |              |              |              |              |                 |
| Capital circulant        |              |              |              |              |              |              | 6.179.990,69 €  |
| Valor residual           |              |              |              |              |              |              | 8.858.703,79 €  |
| Ingressos                | 60 M€        | 60 M€        | 60 M€        | 60 M€        | 60 M€        | 60 M€        |                 |
| Costes                   | - 44,831 M € | - 44,831 M € | - 44,831 M € | - 44,831 M € | - 44,831 M € | - 44,831 M € |                 |
| Amortització             | - 2,156 M€   | - 2,156 M€   | - 2,156 M€   | - 2,156 M€   | - 2,156 M€   | - 2,156 M€   |                 |
| Beneficio brut           | 13,012 M€    | 13,012 M€    | 13,012 M€    | 13,012 M€    | 13,012 M€    | 13,012 M€    |                 |
| Impostos sobre beneficio | - 3,253 M€   | - 3,253 M€   | - 3,253 M€   | - 3,253 M€   | - 3,253 M€   | - 3,253 M€   | - 3,253 M€      |
| NCF (€)                  | 11,915 M€    | 11,915 M€    | 11,915 M€    | 11,915 M€    | 11,915 M€    | 11,915 M€    | 11.785.558,93 € |

### 7.7.4 Anàlisi dels Indicadors de Rendibilitat (VAN i TIR)

Una vegada s'ha avaluat els fluxos de caixa, es realitza un anàlisi del VAN (Valor Actual Net), i la TIR (Taxa de Rendibilitat) a partir de l'equació 7.10:

$$VAN = NCF_0 + \sum_{n=1}^t \frac{NCF}{(1+i)^n}$$

Equació 7.10. Cost base de compra de l'equip

Per fer aquest gràfic, es necessita calcular el VAN a diferents taxes de descompte ( $i$ ) fins a creuar el zero. L'eix horitzontal ( $X$ ) la Taxa de Descompte i l'eix vertical ( $Y$ ) el VAN.

La TIR (veure Figura 7.7) on el VAN es 0 ens indica el valor d'interessos que pot arribar sense que hi hagi risc a la inversió, en el nostre cas hem obtingut un TIR del 26%, per tant, podem dir que es una bona inversió.

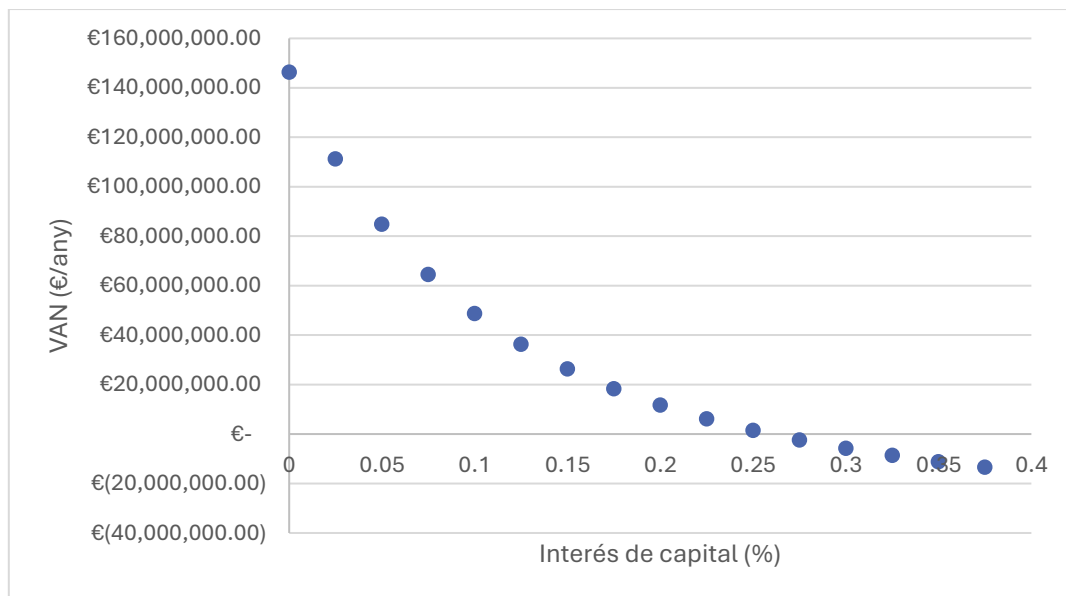


Figura 7.7 Avaluació del VAN

### 7.7.5 Pay-Back

Pay-back o recuperació de la inversió inicial Per determinar quant es recuperar la inversió inicial, es fa servir l'indicador Payback per determinar en quant temps es recuperarà la inversió, es calcula mitjançant l'Equació 7.11.

$$Pay - back = \sum_{i=1}^{i=n} \frac{NCF_i}{C_i}$$

Equació 7.11. Cost base de compra de l'equip

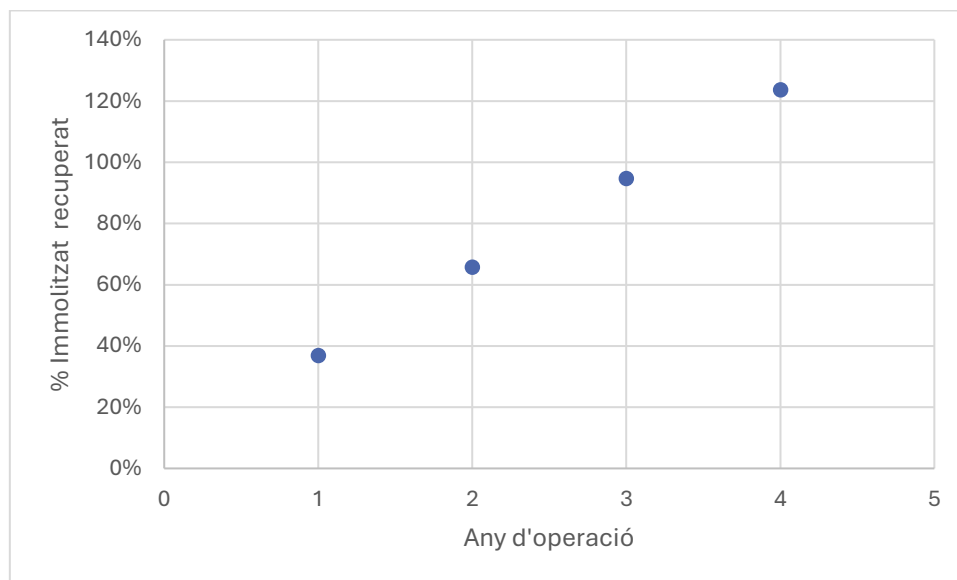
On:

Pay-back<sub>n</sub>: Percentatge de capital immobilitzat recuperat a l'any n

NFC<sub>i</sub>: Flux de caixa neta a l'any i

Ci: Capital immobilitzat

n: any que s'està estudiant



*Figura 7.8 Pay-Back*

El següent gràfic (*Figura 7.8*) il·lustra l'evolució dels Fluxos de Caixa Nets (NCF) i permet visualitzar el punt d'equilibri financer del projecte. De l'anàlisi d'aquestes dades se n'extreuen uns indicadors de rendibilitat altament positius, destacant una Taxa Interna de Retorn (TIR) del 25,93% i un termini de recuperació (*Pay-back*) de 3,70 anys.

Tal com s'observa en la corba del flux acumulat (en el seu punt de tall amb l'eix d'abscisses), la inversió inicial total, que ascendeix a 47.379.928,60 € (composta per 41,20 M€ de capital immobilitzat i 6,18 M€ de capital circulant), es recupera íntegrament durant l'Any 4.

Si s'analitza de forma aïllada la recuperació del capital immobilitzat pur (41,20 M€), s'evidencia que en finalitzar l'Any 3 ja s'han generat pràcticament 39 milions d'euros (38.999.602,30 €) procedents de les operacions. Això significa que el romanent necessari per cobrir l'immobilitzat s'assoleix de manera ràpida durant els primers mesos del quart any operatiu.

## 7.8 Bibliografia

- [1] **España.** (2010, 3 de juliol). *Real Decreto Legislativo 1/2010, de 2 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Sociedades de Capital*. Boletín Oficial del Estado, (161). <https://www.boe.es/eli/es/rdlg/2010/07/02/1>
- [2] **Broseta Pont, M., & Martínez Sanz, F.** (2023). *Manual de derecho mercantil* (30a ed.). Tecnos.
- [3] **Pizzi, A.** (2017). *Handbook of Adhesive Technology* (3a ed.). CRC Press.
- [4] **Reuss, G., Disteldorf, W., Gamer, A. O., i Hilt, A.** (2000). Formaldehyde. A *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. Wiley-VCH. [https://doi.org/10.1002/14356007.a11\\_619](https://doi.org/10.1002/14356007.a11_619)
- [5] **Thames, S. F.** (2020). *Industrial Applications of Formaldehyde*. Chemical Industries Archive.
- [6] **Mordor Intelligence.** (2026). **Formaldehyde Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2026 - 2031)**. Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/formaldehyde-market>
- [7] **Mordor Intelligence.** (2026). *Methanol Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2026 - 2031)*. Mordor Intelligence. <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/methanol-market>
- [8] **Methanex Corporation.** (2026). *Methanex Methanol Price*. Methanex. <https://www.methanex.com/our-business/pricing>
- [9] **Methanol Institute.** (2026). *Methanol Market Services and Global Pricing Resources*. Methanol Institute. <https://www.methanol.org/>
- [10] **Repsol S.A.** (2024). *Ecoplanta: El projecte de transformació de residus en metanol circular al Morell*. Repsol Media. <https://www.repsol.com/es/proyectos/ecoplanta/index.cshtml>
- [11] **Johnson Matthey.** (2024). *FORMOX formaldehyde plants and catalysts: High-performance oxide catalysts*. Johnson Matthey Process Technologies. <https://matthey.com/en/products-and-services/chemical-processes/formox>
- [12] **ICIS.** (2026). *Methanol Price Assessments and Market News*. Independent Commodity Intelligence Services. <https://www.icis.com/explore/commodities/chemicals/methanol/>
- [13] **AEQT (Associació Empresarial Química de Tarragona).** (2025). Informe de la Química a Tarragona: El clúster petroquímic del sud d'Europa. AEQT. <https://www.aeqt.com/informes-sectorials/>
- [14] **Fotocasa.** (s.f.). *Terreno en venta en Torreforta, Tarragona Capital* [Anuncio de venta de inmueble]. <https://www.fotocasa.es/es/comprar/terreno/tarragona-capital/torreforta/185019376/d>
- [15] **Empresa Municipal Mixta d'Aigües de Tarragona, S.A.** (s.f.). *Tarifas*. EMATSA. <https://www.ematsa.cat/el-teu-servei/factura-i-preus/tarifas/>
- [16] **Operador del Mercado Ibérico de Energía.** (s.f.). *Precio del mercado diario*. OMIE. <https://www.omie.es/>

[17] **LookChem.** (s.f.). *Resultados de búsqueda de proveedores y precios para Dowtherm A.*  
<https://www.lookchem.com/newsell/search.aspx?key=dowtherm%20A>

[18] **American Elements.** (s.f.). *Iron Molybdenum Oxide.*  
<https://www.americanelements.com/iron-molybdenum-oxide-13718-70-0>

[19] **Fisher Scientific.** (s.f.). *Suministro y recarga de nitrógeno líquido para sistemas criogénicos.*  
<https://www.fishersci.es/>