



PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA



UAB
Universitat Autònoma
de Barcelona

e escola
d'enginyeria

Laura Molina Gallego
Pilar Ribatallada Ruiz
Lara Ruiz Massanet
Miren Saez Fernández de Gaceo
Edu Valle Pérez
2013

INDICE

7.	AVALUACIÓN ECONÓMICA	1
7.1.	Inversión inicial.....	1
7.1.1.	Cálculo de los gastos previos	1
7.1.2.	Cálculo del capital inmovilizado.....	1
7.1.3.	Cálculo del capital circulante	29
7.1.4.	Puesta en marcha.....	30
7.2.	Estimación de los costes de operación	30
7.2.1.	Costes de fabricación	31
7.2.2.	Costes generales	38
7.3.	Ingresos por ventas y rentabilidad de la planta	39
7.3.1.	Ingresos por ventas.....	39
7.3.2.	Cálculo del Net Cash Flow.....	40
7.3.3.	Estudio del rendimiento económico	44
7.3.4.	Cálculo del valor actual neto (VAN) y de la tasa interna de retono (TIR).....	44
7.3.5.	Cálculo del Pay Back	47
7.4.	Estudio de la viabilidad de la planta.....	47
7.5.	Financiación y recursos propios	48
7.5.2.	Emisión de Acciones	49
7.5.3.	Cooperación entre empresas (Sponsorización)	49
7.5.4.	Inversiones específicas.....	49

7. AVALUACIÓN ECONÓMICA

Uno de los factores más importantes a tener en cuenta al estudiar la viabilidad de construir una planta química es el económico. Para ello se requiere hacer un balance de todos los costes y los beneficios y calcular el tiempo necesario para amortizar la inversión inicial. Se supone una vida útil de la planta de 15 años y se asume que toda la caprolactama producida (45000 Tn/año) se vende para la fabricación de Nylon-6.

7.1. Inversión inicial

Se define la inversión inicial como el capital necesario que se ha de aportar antes de empezar la actividad en cuestión. Este parámetro se compone de gastos previos, capital inmovilizado, capital circulante y puesta en marcha.

7.1.1. Cálculo de los gastos previos

Cantidad monetaria necesaria antes de iniciar el proyecto de diseño y construcción de la planta. Es una cantidad pequeña en relación al capital necesario en etapas posteriores y está asociada a las gestiones administrativas y gestorías, los estudios de mercado y las actividades de investigación necesarias. Esta partida previa es necesaria en todos los casos, aunque al final no se acabe realizando el proyecto porque no sea viable.

En este caso los gastos previos no se pueden evaluar porque como se ha indicado se determinan antes de la construcción de la planta, de manera que no se tendrán en cuenta en la evaluación económica.

7.1.2. Cálculo del capital inmovilizado

El capital inmovilizado supone gran parte de la inversión inicial y corresponde a la cantidad necesaria para la adquisición de todos los edificios, equipos, instrumentos, maquinaria y catalizadores.

Este importe va disminuyendo con el tiempo, debido al uso de los equipos y su envejecimiento y es un capital amortizable.

El capital inmovilizado se puede calcular según tres métodos:

- 1) Métodos globales: son de cálculo rápido, entre 5 y 30 minutos, pero suponen un error entre el 50 y el 100%, de manera que no resultan muy fiables.

Dentro de los métodos globales se puede encontrar el método del factor universal, el método del coeficiente de inmovilización unitario y el método de Williams.

- 2) Métodos de factor único: El procedimiento de cálculo es un poco más lento, supone unas 30 horas, pero esto se ve reflejado en una disminución del porcentaje de error, que es entre el 20 y el 50%.

El método del factor único también es llamado del factor de Lang y únicamente se puede utilizar para planta estándares, aunque no resulta muy utilizado debido a su baja fiabilidad.

- 3) Métodos de factor múltiple: Se requieren más de 30 horas para la estimación del capital inmovilizado pero su fiabilidad aumenta considerablemente, dando únicamente un error entre el 10 y el 20%.

Existen dos métodos de estimación del capital inmovilizado de factor múltiple, el Vian y el Happel.

En este caso se va a utilizar el método de Vian para la estimación del capital inmovilizado, pero para ello se ha de calcular previamente el coste de todos los equipos y maquinaria. Esto es debido a que el método de Vian está basado en la determinación de las diferentes inversiones mediante la utilización de porcentajes respecto a este coste.

- **Coste de los equipos**

Para la determinación del precio actual de los equipos utilizados en la planta se dispone de varios recursos:

- Catálogos: Muchas veces el precio del equipo ya viene determinado por la empresa donde se ha comprado, de manera que no resulta necesario la realización de ningún cálculo.
- Regla de Williams: consiste en calcular el precio del equipo comparándolo con un equipo similar que tenga su magnitud característica parecida a la del equipo en cuestión. Esto se realiza utilizando la *Ecuación 7.1.1*.

$$C_E = C_{Econocido} \cdot \left(\frac{S_E}{S_{Econocida}} \right)^b \quad (\text{Ec. 7.1.1})$$

Donde:

S_E : magnitud característica del equipo del cual se quiere determinar el precio

$S_{Econocida}$: valor de la magnitud característica del equipo del cual se conoce el precio

C_E : precio del equipo a conocer

$C_{Econocido}$: precio del equipo conocido

b : exponente que depende del tipo de fabricación química. En este caso se ha elegido un valor de 0.6

- Método ponderal: Se utiliza mucho para equipos fabricados en caldererías y calcula el coste del equipo mediante la *Ecuación 7.1.2*.

$$C_E = A \cdot B \cdot C \cdot D \cdot \text{Peso primario} \quad (\text{Ec. 7.1.2})$$

Donde:

C_E : Coste del equipo en pesetas del año 1990

A : coeficiente para pasar de peso primario a peso definitivo

B : Coeficiente de calidad (ptas/kg)

C : Coeficiente de mecanización

D : Coeficiente de tratamiento especial de superficies

Peso primario: factor del volumen del equipo por la densidad del material utilizado (kg)

Al aplicar este método la geometría del equipo se calcula de forma simplificada y se consideran siempre tapas planas. Además, como se ha comentado anteriormente el coste se obtiene en base a pesetas del año 1990, de manera que se tendrá que actualizar al año actual con el método CEPCI y convertir a euros.

- Índices CEPCI (Chemical Engineering Plan Cost Index):

Se utiliza para calcular el coste actual de un equipo a partir de su coste conocido en años anteriores y se determina mediante la *Ecuación 7.1.3*.

$$C_{\text{año actual}} = C_{\text{año } t} \cdot \left(\frac{CEPCI_{\text{año actual}}}{CEPCI_{\text{año } t}} \right) \quad (\text{Ec. 7.1.3})$$

Donde:

$C_{\text{año actual}}$: Coste del equipo en dólares actualizado con el valor de CEPCI más actual del que se dispone (año 2010).

$C_{\text{año } t}$: Coste conocido en dólares del año “t”.

$CEPCI_{\text{año actual}}$: Índice para el año 2010 (550.8)

$CEPCI_{\text{año } t}$: Índice CEPCI para el año “t”

- Metodología del Happel:

Consiste en un conjunto de métodos de determinación del coste de los equipos diferenciados según el tipo de equipo. Tiene en cuenta costes de compra y costes de instalación y están expresados en dólares del año 1970. Resulta un método muy valorado para la determinación del precio de las columnas.

El valor de CEPCI para el año 1970 es 125.7.

- Conversión pesetas a euros: 1 euro=166.386 pesetas
- Conversión dólares a euros: 1 euro=1.3008 dolares (3 de Junio de 2013)

a) Estimación del precio de los tanques de almacenaje y los silos

Para la estimación del precio de los tanques de almacenaje se ha utilizado la metodología Happel, donde se determina el precio de compra según el volumen del tanque. Este método está indicado para tanques a presión atmosférica y contruidos con acero al carbono. La primera de las premisas se cumple en todos los casos pero el material de construcción es o acero inoxidable AISI 304L o AISI 316L. Para hacer una estimación más cuidadosa del precio de los tanques se ha multiplicado el valor obtenido por dos en el caso de que estén contruidos con AISI 304L y por tres si se trata de tanques de acero inoxidable AISI 316L.

Además, posteriormente a la determinación del precio este se ha actualizado al año 2010 y se ha convertido a euros. Se ha utilizado la *Ecuación 7.1.4.* y los resultados obtenidos se muestran en las *Tablas 7.1.1.y 7.1.2.*

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 1250(\text{gal} \cdot 10^{-3})^{0.6} \quad (\text{Ec. 7.1.4})$$

Tabla 7.1.1. Coste de los tanques de almacenaje (1)

Referencia	Equipo	Volumen (m ³)	Capacidad (galones)	Coste tanque A.C. (\$ 1970)	Coste tanque real (\$ 1970)	Coste tanque (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
T-101	Tanque de almacenamiento de tolueno	30	6599,1	3877,9	7755,9	33985,2	26126,4
T-102	Tanque de almacenamiento de ciclohexanona	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-103	Tanque de almacenamiento de ciclohexanona	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-104	Tanque de almacenamiento de ciclohexanona	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-105	Tanque de almacenamiento de ciclohexanona	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-106	Tanque de almacenamiento de ciclohexanona	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-107	Tanque de almacenamiento de hidrogeno	13	2859,6	2348,0	7043,9	30865,5	23728,1
T-108	Tanque de almacenamiento de hidrogeno	13	2859,6	2348,0	7043,9	30865,5	23728,1
T-109	Tanque de almacenamiento de amoníaco	24	5279,3	3392,0	6784,0	29726,5	22852,5
T-110	Tanque de almacenamiento de oleum	220	48393,4	12816,9	38450,6	168485,1	129524,2

Tabla 7.1.2. Coste de los tanques de almacenaje (2)

Referencia	Equipo	Volumen (m ³)	Capacidad (galones)	Coste tanque A.C. (\$ 1970)	Coste tanque real (\$ 1970)	Coste tanque (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
T-111	Tanque de almacenamiento de óleum	220	48393,4	12816,9	38450,6	168485,1	129524,2
T-112	Tanque de almacenamiento de óleum	220	48393,4	12816,9	38450,6	168485,1	129524,2
T-113	Tanque de almacenamiento de ácido nítrico	190	41794,3	11737,6	35212,9	154297,9	118617,7
T-114	Tanque de almacenamiento de ácido nítrico	190	41794,3	11737,6	35212,9	154297,9	118617,7
T-401	Tanque de almacenamiento de caprolactama	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-402	Tanque de almacenamiento de caprolactama	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-403	Tanque de almacenamiento de caprolactama	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-404	Tanque de almacenamiento de sulfato de amonio	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
T-405	Tanque de almacenamiento de sulfato de amonio	180	39594,6	11363,0	22725,9	99581,9	76554,3
						TOTAL (€)	1487786,5

b) Estimación del precio de los recipientes de proceso

Dentro del grupo de recipientes de proceso se incluyen reactores, tanques de mezcla y tanques pulmón. Si el equipo consta de agitación mecánica esta se determina aparte en el subapartado “c”. El coste del equipo varía dependiendo de la presión y del material utilizado.

En este caso todos los recipientes de proceso han sido diseñados con acero inoxidable, ya sea AISI 304L o AISI 316L, de manera que se utilizará la *Ecuación 7.1.5*.

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 57(\text{gal})^{0.82} \text{ (Ec. 7.1.5)}$$

En la *Tablas 7.1.3 y 7.1.4*, se muestran los costes individuales de cada recipiente de proceso y el valor global.

Tabla 7.1.3. Coste de los recipientes de proceso (1)

Referencia	Equipo	Volumen (m ³)	Capacidad (galones)	Coste recipiente (\$ 1970)	coste recipiente (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
TM-201	Tanque de mezcla	6,3	1385,4	21476,3	94106,0	72344,7
R-202	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	57414,2	251581,2	193405,0
R-203	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	57414,2	251581,2	193405,0
R-204	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	57414,2	251581,2	193405,0
R-205	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	57414,2	251581,2	193405,0
R-206	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	57414,2	251581,2	193405,0
R-207	Reactor de mezcla perfecta	8,3	1834,0	27030,6	118444,4	91055,0
TP-203	Tanque pulmón puesta en marcha	18,9	4145,1	52753,9	231160,4	177706,4
TP-201	Tanque pulmón de condensados	0,1	14,1	498,4	2183,9	1678,9
TP-202	Tanque pulmón de condensados	0,1	14,1	498,4	2183,9	1678,9
R-208	Reactor de mezcla perfecta	28,3	6216,6	73550,7	322288,9	247762,1

Tabla 7.1.4. Coste de los recipientes de proceso (2)

Referencia	Equipo	Volumen (m ³)	Capacidad (galones)	Coste recipiente (\$ 1970)	Coste recipiente (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
R-209	Reactor de mezcla perfecta	28,3	6216,6	73550,7	322288,9	247762,1
R-210	Reactor de mezcla perfecta	75,4	16580,5	164416,0	720448,1	553850,0
R-211	Reactor de mezcla perfecta	17,2	3777,9	48889,8	214228,5	164689,8
TP-301	Tanque pulmón de condensados	0,6	140,7	3292,8	14428,7	11092,1
					TOTAL (€)	2536644,8

c) Estimación del precio de los agitadores

De los recipientes de procesos detallados en el subapartado anterior todos presentan agitación menos los tanques pulmón. Para el cálculo del coste de los agitadores se ha utilizado el método de Happel que diferencia entre rodete y eje de acero al carbono o de acero inoxidable. Únicamente se hará servir la ecuación correspondiente a acero inoxidable que se muestra a continuación.

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 2000 \cdot (Hp)^{0.56} \quad (\text{Ec. 7.1.6})$$

Para la determinación de la potencia de agitación en caballos de vapor al eje del motor se ha utilizado la relación de 5 Hp/1000 galones, que se muestra en la metodología Happel.

El coste de los diferentes agitadores y el importe global se muestran en la *Tabla 7.1.5*.

Tabla 7.1.5. Coste de los agitadores.

Referencia	Equipo	Volumen recipiente (m ³)	Capacidad (galones)	Potencia agitación (Hp)	Coste agitador (\$ 1970)	Coste agitador (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
TM-201	Tanque de mezcla	6,3	1385,4	6,9	5911,9	25905,3	19914,9
R-202	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	23,0	11571,3	50703,7	38978,9
R-203	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	23,0	11571,3	50703,7	38978,9
R-204	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	23,0	11571,3	50703,7	38978,9
R-205	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	23,0	11571,3	50703,7	38978,9
R-206	Reactor de mezcla perfecta	20,9	4595,9	23,0	11571,3	50703,7	38978,9
R-207	Reactor de mezcla perfecta	8,3	1834,0	9,2	6917,6	30311,7	23302,4
R-208	Reactor de mezcla perfecta	28,3	6216,6	31,1	13703,8	60048,3	46162,6
R-209	Reactor de mezcla perfecta	28,3	6216,6	31,1	13703,8	60048,3	46162,6
R-210	Reactor de mezcla perfecta	75,4	16580,5	82,9	23737,1	104012,6	79960,5
R-211	Reactor de mezcla perfecta	17,2	3777,9	18,9	10368,4	45433,0	34926,9
						TOTAL (€)	445324,2

d) Estimación del precio de los separadores

Para la estimación del precio de los separadores líquido-líquido se ha supuesto que se trata de recipientes de proceso y se ha calculado su coste con el método de Happel.

Se utiliza de nuevo la *Ecuación 7.1.5* y los resultados obtenidos para los diferentes equipos se muestran en la *Tabla 7.1.6*.

Tabla 7.1.6. Coste de los separadores.

Referencia	Equipo	Volumen (m ³)	Capacidad (galones)	Coste recipiente (\$ 1970)	Coste tanque (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
SE-201	Sedimentador	13,2	2892,6	39276,4	172103,9	132306,2
SE-202	Sedimentador	13,2	2892,6	39276,4	172103,9	132306,2
SE-203	Sedimentador	13,2	2892,6	39276,4	172103,9	132306,2
SE-204	Sedimentador	13,2	2892,6	39276,4	172103,9	132306,2
SE-205	Sedimentador	13,2	2892,6	39276,4	172103,9	132306,2
SE-206	Sedimentador	9,9	2177,7	31119,6	136361,7	104829,1
SE-207	Sedimentador	29,8	6555,1	76819,3	336611,4	258772,6
					TOTAL (€)	1025132,6

e) Estimación del precio de las columnas

La estimación del precio de la columna no se realiza con un cálculo tan rápido como los anteriores debido a que depende de muchos factores.

Primeramente, el sistema de cálculo está creado para columnas de platos, por lo tanto, si se trata de columnas de relleno se tienen que convertir a platos para hacer una estimación aproximada del precio.

Además, el coste de la columna está en función del número de platos, la distancia entre platos y el diámetro de la columna. Si se reduce el espacio entre platos, la altura de la columna también se ve reducida y consecuentemente el precio de la columna será menor.

En la planta de producción de caprolactama se tienen 6 torres, 3 de destilación y tres de extracción. No obstante, únicamente una de ellas es de platos. Para estimar los platos de las demás se utiliza la *Ecuación 7.1.7*, donde se supone que el espacio entre platos es de 0.5 metros y que la distancia de los últimos platos con cabezas y colas es de 2 metros. Estos valores de distancias se han calculado a partir de la columna CD-301 de la cual se conocía la altura y el número de platos.

$$h_{columna} = ((n^{\circ}platos - 1) \cdot Espacio_{platos}) + 2 \cdot Espacio_{extremos} \quad (Ec. 7.1.7)$$

Una vez se conoce el número de platos se determina el precio de la columna vacía según la correlación de la *Ecuación 7.1.8* referida a una columna de 6 pies de diámetro. Posteriormente, se utiliza la regla de Williams para calcular el precio real de la columna según su diámetro. Se utiliza para la regla de Williams un exponente de tamaño igual a 0.65 para todos los casos, exceptuando para la columna de platos en que se hace servir un coeficiente igual a 1.

$$C_{vacía\ 6\ feets} (\$ 1970) = C_1 - \left(\frac{N^{\circ}platos_1 - N^{\circ}platos_x}{N^{\circ}platos_1 - N^{\circ}platos_2} \right) \cdot (C_1 - C_2) \quad (Ec. 7.1.8)$$

Donde:

$C_{vacía\ 6\ feets}$: coste columna de la misma altura de la que se quiere calcular (columna “x”) pero de 6 pies de diámetro (dólares 1970)

C_1 : coste de la columna que presenta más platos que la columna “x”

C_2 : coste de la columna que presenta menos platos que la columna “x”

$N^{\circ}platos_1$: Platos que presenta la columna con mayor número de platos que la columna “x”

$N^{\circ}platos_x$: Platos de la columna que se quiere calcular

$N^{\circ}platos_2$: platos de la columna con menos número de platos que la columna “x”

A continuación, en la *Tabla 7.1.7* se muestra el resultado de estas operaciones.

Tabla 7.1.6. Coste de las columnas de 6 ft

Referencia	Equipo	Altura (m)	Diámetro (m)	Nº platos	Nº platos 1	Nº platos 2	C ₁ (\$ 1970)	C ₂ (\$ 1970)	C _{vacía} 6 feet (\$ 1970)
T CD-201	Columna de destilación	8	1,9	9,00	20	10	19400	11000	10160
E-201	Torre extracción	8,9	1,8	10,80	20	10	19400	11000	11672
CD-202	Columna de destilación	4,8	0,92	2,60	20	10	19400	11000	4784
E-301	Torre extracción	14,5	2,8	22,00	50	20	35200	19400	20453
E-302	Torre extracción	11,5	2,8	16,00	20	10	19400	11000	16040
CD-301	Columna destilación	6	1,26	5	20	10	19400	11000	6800

Seguidamente, en la *Tabla 7.1.7* se presentan los costes en dólares de 1970 de las columnas con su diámetro real.

Tabla 7.1.7. Coste de las columnas con su diámetro real

Referencia	Equipo	C _{vacía} 6 feet (\$ 1970)	Diámetro (m)	C _{real} (\$ 1970)
CD-201	Columna de destilación	10160	1,9	10415,4
E-201	Torre extracción	11672	1,8	11552,2
CD-202	Columna de destilación	4784	0,92	3060,9
E-301	Torre extracción	20453,33333	2,8	26977,9
E-302	Torre extracción	16040	2,8	21156,8
CD-301	Columna destilación	6800	1,26	4685,0

Por último, se determina el precio del relleno sabiendo que el precio de los anillos Pall de acero inoxidable es de 2714.84 €/m³ (precio 1970) y tanto el relleno Sulzer SMVP como el relleno Mellapack estructurado tienen un precio de 1200 €/m³ (precio actual).

El precio total del relleno de cada columna, actualizado cuando ha sido necesario para el año 2010, se calcula utilizando la *Ecuación 7.1.9*. Y en la *Tabla 7.1.8*, se muestran los resultados obtenidos.

$$Coste_{relleno} = \left(\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_{relleno} \right) \cdot Precio_{relleno} \quad (\text{Ec. 7.1.9})$$

Tabla 7.1.8. Coste del relleno de las columnas

Referencia	Equipo	Relleno	Altura (m)	Diámetro (m)	Coste relleno (€ 2010)
CD-201	Columna de destilación	Mellapack 250	8	1,9	27218,8
E-201	Torre extracción	Sulzer SMVP	8,9	1,8	27177,3
CD-202	Columna de destilación	Anillos P-ring	4,8	0,92	37958,6
E-301	Torre extracción	Sulzer SMVP	14,5	2,8	107140,9
E-302	Torre extracción	Sulzer SMVP	11,5	2,8	84973,8
CD-301	Columna destilación	-	6	1,26	-

Finalmente, se aplica el índice CEPCI para actualizar los precios de las columnas vacías al año 2010, se hace la conversión de dólares a euros y se suma el valor del relleno para obtener un precio total actualizado. Los valores obtenidos se presentan en la *Tabla 7.1.9*.

Tabla 7.1.9. Coste total actualizado de las columnas

Referencia	Equipo	C _{col vacía} (\$ 2010)	C _{columna vacía} (€ 2010)	Coste total (€ 2010)
CD-201	Columna de destilación	45638,8	35085,2	62303,9
E-201	Torre extracción	50620,1	38914,6	66091,9
CD-202	Columna de destilación	13412,3	10310,8	48269,4
E-301	Torre extracción	118213,6	90877,6	198018,5
E-302	Torre extracción	92706,0	71268,4	156242,2
CD-301	Columna destilación	20529,2	15782,0	15782,0
			TOTAL (€)	546707,9

f) Estimación del precio de los intercambiadores

El coste de los intercambiadores viene dado por el programa de diseño de estos y únicamente se ha convertido a euros, debido a que se trata de un precio actualizado.

En la *Tabla 7.1.10* se pueden observar los diferentes costes en dólares y en euros.

Tabla 7.1.10. Coste de los intercambiadores

Referencia	Equipo	Coste (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
I-201	Carcasa y tubos	16877	12974,3
I-202	Carcasa y tubos	9274	7129,5
I-203	Kettle-reboiler	56849	43703,1
I-204	Condensador cabeza columna	77090	59263,5
I-205	Kettle-reboiler	206946	159091,3
I-206	Condensador cabeza columna	70506	54202,0
I-207	Carcasa y tubos	29396	22598,4
I-208	Carcasa y tubos	17112	13155,0
I-209	Carcasa y tubos	12389	9524,1
I-210	Carcasa y tubos	166903	128308,0
I-211	Carcasa y tubos	758974	583467,1
I-301	Carcasa y tubos	11721	9010,6
I-302	Kettle-reboiler	185972	142967,4
I-303	Condensador cabeza columna	254112	195350,6
I-304	Carcasa y tubos	27752	21334,6
I-305	Carcasa y tubos	21627	16625,9
TOTAL (€)			1478705,4

g) Estimación del precio del eyector

El precio del eyector se ha obtenido por catálogo y se ha encontrado un valor de 765 euros sin recubrimiento y un valor total de **9200** euros teniendo en cuenta el recubrimiento.

h) Estimación del precio de los evaporadores de triple efecto

El precio del evaporador de triple efecto se ha calculado haciendo la suposición de que se trata de tres cristalizadores y utilizando la *Ecuación 7.1.10* obtenida en el Happel.

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 11600 \cdot (T/D)^{0.55} \quad (\text{Ec.7.1.10})$$

En la *Tabla 7.1.11* se muestran los resultados obtenidos y actualizados.

Tabla 7.1.11. Coste de cristalizadores

Referencia	Equipo	Cabal (kg/h)	Cabal (Tn/día)	Coste (\\$ 1970)	Coste (\\$ 2010)	Coste (€ 2010)
EV-501	Evaporador de triple efecto	35916	861,984	477510,1	2092383,1	1608535,6
EV-502	Evaporador de triple efecto	35916	861,984	477510,1	2092383,1	1608535,6
EV-503	Evaporador de triple efecto	35916	861,984	477510,1	2092383,1	1608535,6
					TOTAL (€)	4825606,8

i) Estimación del precio de las torres de refrigeración

El coste de las torres de refrigeración se estima utilizando la *Ecuación 7.1.11*, que depende del caudal de agua tratada. En la *Tabla 7.1.12* se muestran los resultados obtenidos.

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 476 \cdot (\text{galones agua/min})^{0.6} \quad (\text{Ec. 7.1.11})$$

Tabla 7.1.12. Coste de las torres de refrigeración

Referencia	Equipo	Caudal (L/s)	Caudal (gal/min)	Coste (\$ 1970)	Coste (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
TR-601	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-602	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-603	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-604	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-605	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-606	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-607	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-608	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
TR-609	Torre de refrigeración	163,4	2156,0	47621,4	208670,2	160416,8
					TOTAL (€)	1443751,3

j) Estimación del precio de las calderas

El precio de las calderas se calcula según el caudal de vapor generado mediante la *Ecuación 7.1.12*.

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 4.2 \cdot [(lb \text{ vapor}/h)]^{0.7} \quad (\text{Ec. 7.1.12})$$

En la *Tabla 7.1.13* se muestran los costes de cada una de las calderas actualizados y convertidos a euros.

Tabla 7.1.13. Coste de las calderas

Referencia	Equipo	Caudal vapor (kg/h)	Caudal vapor (lb/h)	Coste (\$ 1970)	Coste (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
CV-601	Caldera de vapor	50000	110231,1	112943,7	494903,9	380461,1
CV-602	Caldera de vapor	50000	110231,1	112943,7	494903,9	380461,1
CV-603	Caldera de vapor	50000	110231,1	112943,7	494903,9	380461,1
CV-604	Caldera de vapor	800	1763,6976	6248,1	27378,2	21047,2
					TOTAL (€)	1162430,6

k) Estimación del precio de la centrífuga

El coste de la centrífuga depende directamente del diámetro de la cesta y se determina utilizando la *Ecuación 7.1.13* extraída del Hapel, que se muestra a continuación.

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 354 \cdot D \quad (\text{Ec. 7.1.13})$$

Donde:

D: diámetro de la cesta (pulgadas)

En la *Tabla 7.1.14* se muestra el precio de la centrifuga utilizada.

Tabla 7.1.14. Coste de la centrifuga

Referencia	Equipo	Dcesta (m)	D _{cesta} (plg)	Coste (\$ 1970)	Coste (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
CT-501	Centrífuga	0,7	27,5590551	9755,9	42749,0	32863,6

l) Estimación del precio de la escamadora

El precio de la escamadora utilizada se ha visto por catálogo y su precio era variable en función de las dimensiones y el material utilizado.

En este caso la escamadora modelo 5/5 con un diámetro de tambor de 500 mm y fabricada en acero inoxidable AISI 304L costaba 14800 \$, o lo que es lo mismo **11377.61 euros**.

m) Mezcladores estáticos

El precio de los mezcladores estáticos también se ha determinado por catálogo en función de su diámetro. No obstante, el precio que se ha conseguido venia dado para mezcladores fabricados en acero al carbono, de manera que se multiplica el precio obtenido por 3 para asemejarlo al precio de los mezcladores en acero inoxidable AISI 316L.

En la *Tabla 7.1.15* se muestran los costes de cada equipo en dólares y en euros.

Tabla 7.1.15. Coste de los mezcladores estáticos

Referencia	Equipo	D (mm)	Coste (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
ME-201	Mezclador estático	50	2100	1614,4
ME-202	Mezclador estático	35	1500	1153,1
ME-203	Mezclador estático	30	1200	922,5
			TOTAL (€)	3690,0

n) Filtros candle

El parámetro característico de los filtros candles es el área característica. En este caso, el precio de los equipos se ha determinado utilizando una página web de estimación de costes (www.matche.com) y se ha comparado con el precio que se mostraba en la página *Alibaba* para comprobar que el valor era fiable.

No obstante, la página web adjuntada muestra precios que fechan del año 2007, de manera que se han actualizado con el índice CEPCI.

En la *Tabla 7.1.16* se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 7.1.16. Coste de los filtros candles

Referencia	Equipo	Área filtrado (m ²)	Coste (\$ 2007)	Coste (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
F-201	Filtro candle	4,5	43300	45393,3	34896,4
F-202	Filtro candle	4,5	43300	45393,3	34896,4
				TOTAL (€)	69792,9

o) Estimación del precio del secador

El precio del secador rotatorio se ha estimado con la misma página utiliza para la determinación del precio del filtro candle. En la *Tabla 7.1.17* se presenta el precio obtenido y su actualización al año 2010.

Tabla 7.1.17. Coste del secador rotatorio

Referencia	Equipo	Área secado (m ²)	Coste (\$ 2007)	Coste (\$ 2010)	Coste (€ 2010)
SR-501	Secador rotatorio	0,75	105000	110076,13	84621,87

p) Estimación del precio de las balanzas

Para la estimación del precio de las balanzas se han consultado varias páginas y finalmente se ha considerado que cada una de ellas tiene un precio de 6500 euros. Por lo tanto, se necesita un importe total **13000 euros** para la compra de las dos balanzas de camiones.

q) Estimación del precio de los descalcificadores

El precio de los descalcificadores se ha obtenido en la página web de la empresa donde se ha comprado (www.depuradorasdeaguas.es) y el precio de cada uno de los equipos es de 22110 euros, de manera que los descalcificadores suponen un total de **44220 euros**.

r) Estimación del precio de los grupos electrógenos

El precio del grupo eléctrico Perkins de una potencia de 2250 kVA se ha encontrado en la página web de la empresa *Twenga* y es de **488365 euros**.

s) Estimación del precio de la estación transformadora

Para estimar el precio de la estación transformadora se han consultado varias páginas de venta de estaciones y la página de ventas internacionales *Alibaba* y finalmente se ha elegido utilizar un precio aproximado de **100000 euros** para la evaluación económica global de la planta.

t) Estimación del precio de las bombas

El precio de las bombas se calcula mediante la relación extraída del Happel que se presenta en la *Ecuación 7.1.14* y los datos de la *Tabla 7.1.18*.

$$C_2(\$ 1970) = C_1 \cdot \left(\frac{HP_2}{HP_1}\right)^b \quad (\text{Ec. 7.1.14})$$

Donde:

C_2 : Coste en dólares de la bomba utilizada

C_1 : Coste en dólares de una bomba de referencia

HP_2 : Potencia en caballos de vapor de la bomba utilizada

HP_1 : Potencia en caballos de vapor de la bomba de referencia

b: exponente que presenta un valor medio de 0.52 pero que realmente varia de 0.37 a 0.63 a medida que el tamaño aumenta.

Tabla 7.1.18. Coste de las bombas de referencia

	Potencia del motor (HP)	Coste de compra (\$ 1970)
Bomba pequeña	1	600
Bomba mediana	10	1400
Bomba grande	100	6000

A continuación, en la *Tabla 7.1.19* se muestra de forma detallada el precio de cada una de las bombas presentes en la planta actualizadas al año 2010 y el importe global

Tabla 7.1.19. Coste de las bombas (1)

Referencia	Equipo	Potencia (W)	Potencia del motor (HP)	Coste (\$ 1970)	Coste (\$ 1970)	Coste (€ 2010)
P-101/P-102	Bomba centrífuga	545,22	0,73	509,73	534,38	410,81
P-103/P-104	Bomba centrífuga	496,4	0,67	485,47	508,94	391,25
P-105/P-106	Bomba centrífuga	971,86	1,30	688,46	721,75	554,85
P-107/P-108	Bomba centrífuga	1404,04	1,88	833,61	873,91	671,83
P-113/P-114	Bomba centrífuga	1484,03	1,99	857,98	899,46	691,47
P-115/P-116	Bomba centrífuga	1788,82	2,40	945,50	991,21	762,00
P-117/P-118	Bomba centrífuga	922,88	1,24	670,20	702,60	540,13
P-119/P-120	Bomba centrífuga	975,95	1,31	689,97	723,32	556,06
P-201/P-202	Bomba centrífuga	360,85	0,48	411,28	431,16	331,46
P-203/P-204	Bomba centrífuga	680,76	0,91	572,12	599,77	461,08
P-205/P-206	Bomba centrífuga	641,4	0,86	554,67	581,48	447,02
P-207/P-208	Bomba centrífuga	1570,28	2,10	883,56	926,27	712,08
P-209/P-210	Bomba centrífuga	1407,57	1,89	834,70	875,05	672,71
P-211/P-212	Bomba centrífuga	1499,89	2,01	862,74	904,44	695,30
P-213/P-214	Bomba centrífuga	1813,21	2,43	952,18	998,21	767,39
P-215/P-216	Bomba centrífuga	1822,8	2,44	954,80	1000,96	769,49
P-217/P-218	Bomba centrífuga	1537,22	2,06	873,84	916,08	704,24
P-219/P-220	Bomba centrífuga	3840,44	5,15	1406,71	1474,72	1133,70
P-221/P-222	Bomba centrífuga	1557,64	2,09	879,85	922,39	709,09
P-223/P-224	Bomba centrífuga	1757,91	2,36	936,97	982,27	755,12
P-225/P-226	Bomba centrífuga	30,59	0,04	113,98	119,49	91,86
P-227/P-228	Bomba centrífuga	1158,52	1,55	754,32	790,79	607,93
P-229/P-230	Bomba centrífuga	59,9	0,08	161,65	169,47	130,28

Tabla 7.1.19. Coste de las bombas (2)

Referencia	Equipo	Potencia (W)	Potencia del motor (HP)	Coste (\$ 1970)	Coste (\$ 1970)	Coste (€ 2010)
P-231/P-232	Bomba centrífuga	1891,22	2,54	973,27	1020,32	784,38
P-233/P-234	Bomba centrífuga	714,82	0,96	586,83	615,20	472,94
P-235/P-236	Bomba centrífuga	691,1	0,93	576,62	604,49	464,71
P-237/P-238	Bomba centrífuga	1124,76	1,51	742,81	778,72	598,65
P-239/P-240	Bomba centrífuga	178,93	0,24	285,58	299,38	230,15
P-241/P-242	Bomba centrífuga	9461,66	12,68	2248,17	2356,86	1811,85
P-243/P-244	Bomba centrífuga	1306,09	1,75	802,85	841,66	647,03
P-245/P-246	Bomba centrífuga	353,38	0,47	406,83	426,50	327,87
P-247/P-248	Bomba centrífuga	392,51	0,53	429,66	450,44	346,28
P-249/P-250	Bomba centrífuga	162,44	0,22	271,57	284,70	218,87
P-251/P-252	Bomba centrífuga	239,7	0,32	332,47	348,54	267,95
P-253/P-524	Bomba centrífuga	2718,42	3,64	1175,36	1232,18	947,25
P-255/P-526	Bomba centrífuga	3322,87	4,45	1304,71	1367,79	1051,50
P-257/P-258	Bomba centrífuga	2893,75	3,88	1214,19	1272,89	978,54
P-259/P-260	Bomba centrífuga	691,97	0,93	577,00	604,89	465,01
P-261/P-262	Bomba centrífuga	1819,25	2,44	953,83	999,94	768,71
P-263/P-264	Bomba centrífuga	359,14	0,48	410,26	430,10	330,64
P-265/P-266	Bomba centrífuga	2990,7	4,01	1235,18	1294,89	995,46
P-267/P-268	Bomba centrífuga	1592,6	2,13	890,07	933,10	717,32
P-269/P-270	Bomba centrífuga	223,5	0,30	320,59	336,09	258,37
P-271/P-272	Bomba centrífuga	631,5	0,85	550,20	576,80	443,42
					TOTAL (€)	26694,04

Si se tiene en cuenta que todas la bombas se encuentran duplicadas: **53.388,08 €/año**

u) Estimación del precio de los compresores

El coste de los compresores se calcula también utilizando la metodología Happel, que determina el precio de estos equipos en función de la potencia, tal y como se indica en la *Ecuación 7.1.15*.

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 645 \cdot (Hp)^{0.8} \quad (\text{Ec. 7.1.15})$$

Según el método para un cálculo rápido se puede estimar un valor de la potencia de cada compresor utilizando la *Ecuación 7.1.16*.

$$Hp = 0.0044 \cdot P_1 \cdot Q_1 \cdot \ln\left(\frac{P_2}{P_1}\right) \quad (\text{Ec. 7.1.16})$$

Donde:

P_1 : presión de entrada (libras/pulgada²)

Q_1 : caudal de entrada de gas (pies³/min)

P_2 : presión de salida (libras/pulgada²)

No obstante, en este caso se conocía el valor exacto de la potencia de cada uno de los compresores y se ha aplicado directamente la *Ecuación 7.1.15*.

En la *Tabla 7.1.20* se muestran los resultados obtenidos de costes para todos los compresores.

Tabla 7.1.20. Coste de los compresores

Referencia	Equipo	Potencia (kW)	Potencia del motor (HP)	Coste (\$ 1970)	Coste (\$ 1970)	Coste (€ 2010)
C-101	Compresor	224,29	300,66	61946,22	64940,95	49923,86
C-102	Compresor	115,73	155,14	36486,74	38250,66	29405,49
C-201	Compresor	3,21	4,31	2073,85	2174,11	1671,36
C-202	Compresor	3,21	4,31	2073,85	2174,11	1671,36
					TOTAL (€)	82672,07

v) Estimación del precio de los soplantes

El precio de los soplantes se estima con la metodología Happel utilizando la Ecuación 7.1.17

$$\text{Coste (\$ 1970)} = 6.7 \cdot \left(\frac{\text{pie}^3}{\text{min}}\right)^{0.68} \quad (\text{Ec. 7.1.17})$$

En la planta de producción de caprolactama *Simio* únicamente se tiene un soplante, el precio del cual se especifica en la *Tabla 7.1.21*.

Tabla 7.1.21. Coste del soplante

Referencia	Equipo	Q _v (m ³ /min)	Q _v (pie ³ /min)	Coste (\$ 1970)	Coste (\$ 1970)	Coste (€ 2010)
C-203/C-204	Soplante	86,98	3073,50	1576,40	1652,61	1270,45

w) Antorcha

El precio de la antorcha se ha obtenido del catálogo de compra de esta y depende directamente de la altura de la chimenea y del diámetro de la boquilla. En este caso se ha elegido la antorcha más pequeña, que presenta una altura de 30 pies y un diámetro de boquilla de 12 pulgadas. Esta decisión se debe a que únicamente se utilizará este equipo en casos de emergencia y por lo tanto con la antorcha elegida será suficiente. El coste de la antorcha autosostenida en el año 2000 era de 44.163 dólares.

Se utiliza el índice CEPCI del año 2000 (394.1) para convertir el coste de la antorcha a dólares del año 2010, obteniéndose un valor de 61.722,86 dólares. Y seguidamente se pasa esta cantidad a euros, resultando en un coste final de **47.449,92 euros**.

x) Sistema contra incendios

El coste de todo el sistema contra incendios, incluyendo hidrantes, bocas de incendio equipadas, extintores, alarmas de emergencia, rociadores automáticos y conexiones se ha estimado que supondrá un valor de 300000 euros y que forma parte del inmovilizado. No obstante, este tipo de equipos se han de ir revisando y renovando cada cierto tiempo para asegurar su correcto funcionamiento ya que son vitales para la seguridad de la planta.

- **Método Vian**

En la *Tabla 7.1.22* se muestran las directrices del método Vian, es decir, los diferentes conceptos que se tienen en cuenta y el porcentaje que suponen respecto al precio total de los equipos y la maquinaria.

Tabla 7.1.22. Método Vian

I1	Maquinaria y aparatos	X
I2	Gastos de instalación de I1	$(0,35-0,45-0,50) \cdot X$
I3	Tuberías y válvulas	Sólidos: $0,10 \cdot X$
		Líquidos: $0,60X$
I4	Instrumentos de medida y control	$(0,05-0,3) \cdot X$
I5	Aislamientos térmicos	$(0,03-0,07-0,10) \cdot X$
I6	Instalación eléctrica	$(0,10-0,20) \cdot X$
I7	Terrenos y edificios	Interior: $(0,2-0,3) \cdot X$
		Mixta: $(0,12-0,15) \cdot X$
		Exterior: $(0,05) \cdot X$
I8	Instalaciones auxiliares (servicios)	$(0,25-0,40-0,70) \cdot X$
Y	Capital físico o primario	$I1+I2+I3+I4+I5+I6+I7+I8$
I9	Honorarios del proyecto y dirección de montaje	Proyectos: $0,12 \cdot Y$
		Dirección: $0,06 \cdot Y$
		Compra: $0,02 \cdot Y$
Z	Capital directo o secundario	$I9+Y$
I10	Contrato de obras	$(0,04-0,10) \cdot Z$
I11	Gastos no previstos	$(0,10-0,30) \cdot Z$

A continuación, se detallan cada uno de los conceptos y su valor.

I1. Maquinaria y aparatos: Es la suma de los precios de todos los equipos presentes en la planta de producción de caprolactama.

$$I1 = 16.294.051,6 \text{ € (16.29 M€)}$$

I2. Gastos de instalación de I1: Supone todo el coste de preparar e instalar el equipo, es decir, comprende todos los materiales, accesorios, transporte y mano de obra de los equipos a instalar. Según el método su valor se encuentra entre el 35 y el 50% del coste total de los equipos y en este caso se utilizará un valor del 45% que es el que se hace servir habitualmente. De este 45% un 20% corresponde al material y el otro 25% a la mano de obra.

$$I2 = 0.45 \cdot X = 7.332.323,22 \text{ € (7.33 M€)}$$

I3. Tuberías y válvulas: Incluye el precio de la tubería más sus accesorios y también el coste de la instalación. El único coste que no está añadido es el del aislamiento. Para sólidos es un 10% del coste total de los equipos y para fluidos el 60% del coste total de los equipos.

$$I3 = 0.60 \cdot X = 9.776.430,96 \text{ € (9.78 M€)}$$

I4. Instrumentos de medida y control: Incluye el coste de todos los aparatos de control de la planta, teniendo en cuenta su adquisición e instalación. Supone valores entre el 5 y el 30% del coste total de los equipos y depende del grado de instrumentalización de la planta, ya que para plantas poco instrumentalizadas se tienen valores más bajos. Para la planta en cuestión se ha elegido un valor del 25%.

$$I4 = 0.25 \cdot X = 4.073.512,9 \text{ € (4,07 M€)}$$

I5. Aislamientos térmicos: Incluye el precio del aislante y la mano de obra necesaria para su colocación. Este valor varía entre el 3% y el 10%, pero normalmente se toman valores del 7%.

$$I5 = 0.07 \cdot X = 1.140.583,61 \text{ € (1,14 M€)}$$

I6. Instalación eléctrica: Este parámetro incluye la red de distribución, las subestaciones eléctricas y los motores eléctricos. Su valor varía en el 10 y el 20% del precio total de los equipos (X). En este caso se elige un valor del 15% de X.

$$I6=0.15 \cdot X= 2444107,74 \text{ € (2,44M€)}$$

I7. Terrenos y edificios: Este parámetro depende del tipo de planta y normalmente tiene en cuenta todos los costes necesarios para que el terreno sea urbanizable, es decir, la nivelación, la construcción de los edificios, etc... No obstante, el coste de compra del terreno no se tiene en cuenta en este subapartado. El valor de los edificios es variable según si la edificación es interior, exterior o mixta. En este caso se ha considerado un valor de I7 igual al 15% de I1 debido a que se trata de un edificio mixto. Pero, como se puede comprobar se ha elegido el valor más grande dentro del rango para edificios mixtos porque la mayoría de las instalaciones son interiores.

$$I7=0.15 \cdot X= 2444107,74 \text{ € (2,44M€)}$$

I8. Instalaciones auxiliares: Incluye todos los servicios como el agua, la luz, el vapor y el gas natural entre otros. Normalmente se considera un valor del 40% que es el recomendado por el método.

$$I8=0.40 \cdot X= 6.517.620,64 \text{ € (6,52 M€)}$$

Y. Capital físico o primario: Es la suma de todas las inversiones calculadas anteriormente (I1 a I8).

$$Y=I1+I2+I3+I4+I5+I6+I7+I8= 50.022.738,41 \text{ € (50,02 M€)}$$

I9. Honorarios del proyecto, dirección de obra e instalación de montaje: Se calcula a partir del capital físico o primario y supone un 20% de su valor. Este 20% se puede desglosar en un 12% correspondiente a proyectos, un 6% correspondiente a dirección de obras y un 2% destinado a la gestión de la compra de los equipos.

$$I9=0.2 \cdot Y= 10.004.547,68 \text{ € (10 M€)}$$

Z. Capital directo o secundario: Corresponde a la suma de I9 más el capital físico.

$$Z=Y+I9= 60.027.286,09 \text{ € (60,03 M€)}$$

I10. Contrato de obras: Se consideran porcentajes entre el 4 y el 10% del capital directo y su valor depende de cómo de grande es la planta, ya que como más pequeña mejor comunicada. En este caso se elige el valor medio del rango (7%).

$$I10=0.07 \cdot Z= 4.201.910,027 \text{ € (4,20 M€)}$$

I11. Gastos no previstos: Este concepto tiene en cuenta imprevistos en la construcción. El rango supuesto por el método es del 10 al 30% del capital directo, que es un margen bastante grande. Se elige un valor medio del 20%.

$$I11=0.20 \cdot Z = 12.005.457,22 \text{ € (12 M€)}$$

❖ Capital inmovilizado total

El capital inmovilizado total se calcula como la suma de Z, I10 y I11.

$$I=Z+I10+I11= 76.234.653,34 \text{ € (76,23 M€)}$$

Además, también se ha de calcular el precio del catalizador, ya que este forma parte del inmovilizado. Para cuantificar su coste se calcula la cantidad necesaria de catalizador (2% Pd/C), teniendo en cuenta su vida útil y sus pérdidas y se multiplica por el precio de este.

En este caso, se desconoce el valor de las pérdidas de catalizador con el tiempo pero se ha supuesto que el coste de las pérdidas equivale a los beneficios obtenidos al recuperar el Paladio, según indica la empresa subministradora *Johnson Matthey*.

Vida útil del catalizador: Se ha de regenerar cada año

Cantidad de catalizador anual necesaria: 169416 kg

Precio del catalizador: 466.8 €/kg

Coste del catalizador: **79.083.338,8 €**

Finalmente, si se añade el valor del catalizador al valor calculado anteriormente de I, se obtiene el capital inmovilizado total.

Capital inmovilizado= 155.317.992,14 € (155,32 M€)

7.1.3. Cálculo del capital circulante

El capital circulante corresponde a la cantidad monetaria destinada al funcionamiento del negocio, que se ha de tener desde el momento inicial y en todo momento para asegurar la actividad de la empresa. Este importe ha de prever los sueldos de los empleados, las adquisiciones de material, los costes de envasado y los servicios entre otros. Se trata de un capital variable y no amortizable que se encuentra en movimiento durante la actividad de la planta y se recupera al final de la vida útil de la planta. Únicamente se pierde el IPC.

El capital circulante se puede determinar según dos métodos:

- 1) Métodos globales: Estiman el capital circulante según un porcentaje del 10 al 30% del valor de las ventas o del 10 al 30% del valor del capital inmovilizado.
- 2) Ciclo de producción: Consiste en dividir en diferentes apartados la planta y calcular el capital circulante utilizando la *Ecuación 7.1.18*.

$$CC = \frac{q}{12} \cdot (m1' + 0.5 \cdot M_1 \cdot f + 2 \cdot M_1 + 0.5 \cdot V_1) \quad (\text{Ec. 7.1.18})$$

En este caso se utiliza un método global y se considera el capital circulante como un 20% del capital inmovilizado.

Capital circulante=0.2·Capital inmovilizado= 31.063.598,43 € (31,06 M€)

7.1.4. Puesta en marcha

El capital asociado a la puesta en marcha está destinado a reparaciones, modificaciones, pérdidas de reactivo y producto y posible aumento de la mano de obra o de los costes. Además, también se ha de tener en cuenta si la planta ya estaba en funcionamiento o si por el contrario es de nueva construcción.

Se ha de incluir el precio de la parcela, que no se ha considerado anteriormente. La parcela está ubicada en un polígono industrial “NYLON 66” situado en Tarragona, donde último dato del precio del metro cuadrado es de 132.1 €/m² y corresponde al último trimestre del año 2012. La parcela de la empresa *Simio* presenta una superficie 53235 m², de manera que supondrá una inversión de **7032343.5 euros**.

La inversión total, calculada como la suma de capital inmovilizado, capital circulante y costes de puesta en marcha es de **193.413.934,07 euros (193,41 M€)**.

7.2. Estimación de los costes de operación

Un coste en general es el valor expresado en unidades monetarias de las prestaciones y bienes utilizados para conseguir el objetivo de la empresa que es la producción. Una vez se conoce el valor de los costes de inversión se determina los costes relacionados con la producción de caprolactama. Estos costes incluyen costes de fabricación y manufactura (M) y costes de administración, ventas y generales (G). Se definen los costes generales como los costes de laboratorios, administración, personal de seguridad, etc...

Cada uno de los subgrupos se encuentran clasificados en diferentes categorías, tal y como se puede ver en el esquema mostrado a continuación.



A continuación se definen cada uno de los tipos de costes:

- Costes directos: Son aquellos que corresponden a un coste imputable claramente a un determinado producto, proceso o sección.
- Costes indirectos: Son aquellos que gravan la producción pero que no pueden ser directamente atribuibles a un determinado producto, a no ser que la planta únicamente produzca un único producto. Todos los costes indirectos se pueden asociar al producto más caro, se pueden dividir en partes iguales o repartir de manera proporcional según el precio de venta de cada producto.
- Costes fijos: Son costes que no dependen de la cantidad producida. Una parte muy importante de ellos están relacionados con el hecho de abrir la empresa cada día y con el mantenimiento periódico de las instalaciones.
- Costes variables: Son costes que aumentan a medida que se incrementa el ritmo de producción. Se incluyen dentro de costes variables las materias primas, la mano de obra directa y las patentes.
- Costes proporcionales: Son costes que aumentan proporcionalmente con el incremento del volumen de producción. Se podría destacar entre ellos el coste de las materias primas, del empaquetado del producto y los costes de expedición.
- Costes regulados: Son función de la producción pero no de una forma lineal. Pueden aumentar o disminuir con variaciones del ritmo de producción pero no linealmente.
- Costes regresivos: Estos costes aumentan con la producción en una medida más pequeña que los costes proporcionales. Un ejemplo serían los gastos de laboratorio y de energía.
- Costes progresivos: Estos costes aumentan con la producción en una medida más grande que los proporcionales. El ejemplo más claro de coste progresivo sería la mano de obra extra, que siempre supone un precio superior a la mano de obra contratada.

7.2.1. Costes de fabricación

- Coste de la materia prima (M1): El coste de la materia prima incluye todos los costes hasta tener la materia prima dentro del almacén, es decir, incluye costes de transporte, almacenamiento, impuestos y posibles pérdidas de materia prima.

También se consideran en este apartado los costes de materias auxiliares como lubricantes y catalizadores que no duren más de un ciclo de producción. Si el catalizador dura más de un ciclo de producción se considera parte del inmovilizado, como se ha comentado anteriormente.

El precio de las materias primas se ha obtenido consultando varias fuentes bibliográficas, entre ellas *Alibaba* y *Chemorg*. Se considera este correcto para una primera estimación de la economía de la planta pero se recomendaría hacer un estudio exhaustivo de mercado para obtener un buen precio de los reactivos y sacar la caprolactama y el sulfato de amonio al mercado con un precio competitivo.

En la *Tabla 7.2.1.* se muestra el precio por tonelada de cada reactivo utilizado y el coste anual teniendo en cuenta la cantidad requerida de cada uno de ellos.

Tabla 7.2.1. Coste de los reactivos

Compuesto	Cantidad (kg/h)	Cantidad (Tn/año)	Precio (€/Tn)	Coste (€/año)
Oleum	8279,31	59611,03	232,67	13869698,8
Hidrogeno	362,87	2612,66	798,91	2087283,4
Amoníaco	3042,64	21907,01	291,76	6391588,7
Ácido nítrico	3780,77	27221,54	239,6	6522281,9
Ciclohexanona	5682,19	40911,77	1413,62	57833693,5
Tolueno	11,16	80,35	772,6	62080,0
			TOTAL	86766626,2

$$M1=86.766.626,2 \text{ €/año (86,77 M€/año)}$$

- Coste de la mano de obra directa (M2): La mano de obra directa es la que únicamente está relacionada con el proceso de producción. Su valor es muy variable dependiendo del grado de automatización de la empresa, de la naturaleza del proceso y de la capacidad de producción. De los trabajadores totales indicados en el *Apartado 1*, únicamente se tienen en cuenta 42 correspondientes a operarios, jefes de sección y especialistas.

Los sueldos de los trabajadores son variables en función de su puesto en la empresa, sin embargo se va a considerar un sueldo medio de 25000 euros por persona y año tal y como se muestra indicado para el sector de la industria química. Este sueldo estará dividido en 14 pagas, siendo dos de ellas pagas extraordinarias.

$$M2=42 \cdot 25000=1.050.000 \text{ €/año (1,05 M€/año)}$$

- Patentes (M3): Si el proceso en cuestión utiliza alguna patente que aún está en vigor se tiene que pagar por ello. Normalmente el precio a pagar supone entre un 1 y un 5% de las ventas anuales. El valor elegido del porcentaje depende del tipo de negocio del que se trate, escogiéndose valores bajos en el caso de universidades (1%) y valores altos en el caso de multinacionales (5%).

En este caso, se han consultado patentes y libros para obtener información sobre las diferentes condiciones de operación pero el proceso global realizado no se encuentra bajo ninguna patente que esté en vigor.

$$M3=0 \text{ €/año}$$

- Costes de la mano de obra indirecta (M4): La mano de obra indirecta incluye todo el personal de fabricación no adscrito a tareas productivas. En este grupo se podrían encontrar supervisores, encargados, personal de seguridad, personas en prácticas y personal de servicios entre otros. No obstante no se incluye en este grupo el personal comercial ni de ventas, ya que únicamente considera el personal de planta. Se calcula su valor como un 15-45% del valor de la mano de obra directa (M2). Se elige el valor medio del rango, es decir, un 30%.

$$M4=0.3 \cdot M2=315.000 \text{ €/año (0,31 M€/año)}$$

- Servicios generales (M5): El coste de los servicios depende de si son internos o externos, es decir si necesitas pedir algo a alguna empresa externa. Los servicios externos se pagan como si fueran materia prima i se ha de conocer su precio y su consumo. En cambio los servicios internos se consideran como parte de los costes de fabricación. En este caso se tendrá en cuenta el precio de la electricidad, del gas natural, del agua de servicios y del nitrógeno.
- *Agua de servicios*: Para obtener el valor del agua de servicios necesarias se suma el agua necesaria en los intercambiadores I-211 e I-305, el agua de reposición de las torres, el agua de entrada neta de la corriente 256 y el agua necesaria para uso personal.

Para la determinación de la cantidad de agua de uso personal se fija una cantidad de 25 L/trabajador y día. Si se considera que cada día se encuentra activa $\frac{3}{4}$ partes de la plantilla se determina una necesidad de agua de uso personal de 1687.5 L/día o lo que es lo mismo 506.25 m³/año.

En la *Tabla 7.2.2* se muestra la cantidad de agua destinada a cada equipo y el volumen total de agua necesaria.

Tabla 7.2.2. Cantidad de agua necesaria

	Cantidad (m ³ /año)
Agua intercambiadores	274752,0
Agua torres de refrigeración	898128,0
Agua corriente 256	176404,3
Agua uso personal	506,3
TOTAL	1349790,6

- *Gas natural:* Según se había indicado en el *Apartado 1.4.* se requiere una cantidad total de 9527.87 m³/h para las calderas. La cantidad de gas natural anual necesaria sería de 68.600.664 m³/año.

No obstante, el precio del gas natural únicamente se ha encontrado en base a los kW, de manera que se ha multiplicado por el valor calorífico del gas para obtener el valor energético consumido. La energía proporcionada por el gas natural es de 74566000 kcal/h.

- *Electricidad:* El consumo eléctrico es de 30000 kW, tal y como se había comentado en el *Apartado 1.4.*
- *Nitrógeno:* La cantidad global de nitrógeno necesario (blanketing + transportación de sólidos) es de 228 m³ cada 5 días o lo que es lo mismo 13680 m³ al año.

A continuación, en la *Tabla 7.2.3* se muestra el valor del parámetro característico de cada servicio, su precio y su coste anual.

Tabla 7.2.3. Coste de los servicios

Servicio	Cantidad	Precio unitario (€/parámetro)	Coste (€)
Agua de red (m ³ /año)	1,35E+06	2,285	3084272
Gas natural (kW/año)	6,24E+08	0,04999	31213049
Electricidad (kW/año)	2,16E+08	0,14	30240000
Nitrógeno (m ³ /año)	13680	17,163	234790
TOTAL			64772110

$$M5=64.772.110 \text{ €/año (64,77 M€/año)}$$

- Suministros (M6): Este parámetro hace referencia a las adquisiciones regulares que no forman parte ni de materias primas ni de servicios. Algunos ejemplos serían el papel para oficinas, el material de seguridad y el material de limpieza. Los suministros suponen entre un 0.2 y un 1.5% del inmovilizado. Se elige un valor de 0.8%.

$$M6=8 \cdot 10^{-3} \cdot I=1.242.543,94 \text{ €/año (1,24 M€/año)}$$

- Mantenimientos (M7): Se incluye en este subapartado el coste de todas las revisiones periódicas, reparaciones y sustituciones de piezas que no se realizan por empresas externas. No se tienen en cuenta aquí las inversiones por ampliación de la planta ni las modificaciones de equipos que supongan una mejora en la operación de estos. Además, M7 depende de las condiciones de la planta, que pueden ser suaves, medianas o duras. Para la industria química se consideran condiciones medias y se calcula el coste del mantenimiento como un 8-12% del coste del inmovilizado. En este caso se ha elegido un valor del 6%.

$$M7=0.06 \cdot I=9.319.079,53 \text{ €/año (9,32 M€/año)}$$

- Laboratorios (M8): En la planta de producción de caprolactama se tienen laboratorios de I+D y laboratorios de control de calidad. En los laboratorios de control de calidad se controla tanto la entrada como la salida de materias para evaluar su calidad. En cambio, en el laboratorio de I+D se investiga sobre posibles mejoras en el proceso.

El coste de los laboratorios se estima en función de la mano de obra directa y varía entre un 5 y un 25% de su valor. Para este proyecto se ha elegido un valor del 20% porque se considera una parte importante del correcto funcionamiento de una empresa.

$$M8=0.20 \cdot M2=210.000 \text{ €/año (0,21 M€/año)}$$

- Envasado (M9): El coste del envasado depende del producto y siempre se calcula en función de las ventas de este producto. En el coste del envasado se incluyen los costes de personal, dispositivos y materiales necesarios para la actividad de envasar. Además depende mucho del tipo de empresa. En este proyecto los envases son big-bags tanto para el producto principal como para el subproducto, de forma que se va a suponer un porcentaje del 15% que no resulta muy elevado.

$$M9=0.15 \cdot V=16.854.000 \text{ €/año (16,85 M€/año)}$$

- Expediciones (M10): Incluye el coste que supone tener el producto en el depósito de almacenamiento y depende de la peligrosidad, la forma de envasado, la naturaleza del producto. Es un coste que no se va a cuantificar en este proyecto debido a que resulta muy difícil dar un porcentaje para las expediciones.
- Técnicos y directivos (M11): Es el coste de los gerentes y jefes que trabajan en la planta. Generalmente se calcula como un porcentaje entre el 10 y el 20% de los costes de mano de obra directa, aunque en la mayoría de los casos se coge un valor del 20%.

$$M11=0.20 \cdot M2=210.000 \text{ €/año (0,21 M€/año)}$$

- Amortización (M12): Consiste en tener en cuenta la amortización de todos los equipos de la planta y depende de su durabilidad, ya que está asociado a la pérdida del valor del inmovilizado. Normalmente se amortiza el valor del equipo menos el valor residual si lo vendes, no obstante si no se consigue vender el equipo se ha de amortizar el 100% de su valor.

La amortización de la maquinaria y equipos no se va a tener en cuenta en este apartado debido a que se va a añadir en el cálculo del Net Cash Flow (*Apartado 7.3.2.*).

- Alquileres (M13): Únicamente se tendría en cuenta este subapartado si se tienen alquileres. Si el terreno y el edificio se compra, como es el caso, este valor no se amortiza porque al final de la vida útil de la planta se recupera su valor.
- Impuestos y tasas (M14): Se incluyen todos los impuestos menos los asociados a tener un beneficio, es decir, son los impuestos normales por el funcionamiento de la empresa, como podría ser el alcantarillado. Su valor oscila entre un 0.5 y un 1% del valor del inmovilizado. En este caso se ha considerado un valor medio del 0.75%.

$$M14=7.5 \cdot 10^{-3} \cdot I= 1.164.884,94 \text{ €/año (1,16 M€/año)}$$

- Seguros (M15): En una industria química del calibre de la que se está diseñando se necesitan fuertes seguros. El valor de este parámetro supone el 1% del inmovilizado y no tiene en cuenta el valor de los seguros del personal debido a que está incluido en el precio de la mano de obra.

$$M15=1 \cdot 10^{-3} \cdot I=155.317,99 \text{ €/año (0,15 M€/año)}$$

Finalmente, se calcula el valor global de los costes de fabricación como la suma de los diferentes costes utilizando la *Ecuación 7.2.1.*

$$M = \sum_{i=0}^{15} M_i \quad (\text{Ec. 7.2.1})$$

$$M=182.059.562,60 \text{ €/año (182,06 M€/año)}$$

7.2.2. Costes generales

- Costes comerciales (G1): Son los costes asociados a la venta del producto. Incluye agentes comerciales, viajes, publicidad y marketing y se establece como un porcentaje entre el 5 y el 20% de los costes de fabricación (M).

Además, se hace una distinción entre productos bien colocados en el mercado, de gran tonelaje o intermedios que no van directamente al consumidor (5-10%M) y productos de gran competencia que van directamente al consumidor (10-20%).

En este caso la caprolactama se vende directamente al consumidor o empresa de fabricación de Nylon, de manera que se determinan los costes comerciales utilizando un porcentaje del 5%.

$$G1=0.05 \cdot M=9.102.978,13 \text{ €/año (9,10 M€/año)}$$

- Costes de gerencia (G2): Incluye el sueldo del gerente, el de los empleados de administración y los costes de oficinas asociados a la gerencia. Se establece como un porcentaje del 3 al 6% de los costes de fabricación o manufactura (M). En este caso se ha elegido un valor del 4%.

$$G2=0.04 \cdot M= 7.282.382,504 \text{ €/año (7,28 M€/año)}$$

- Costes financieros (G3): Este parámetros es básicamente función de los capitales prestados en el negocio, es decir, de los préstamos o el capital que se haya pedido al banco y de los intereses asociados a ese capital y a esa época. Por lo general se suponen costes financieros entre un 6 y un 8% del capital prestado. Para la realización de este proyecto se va a suponer que se disponía de la cantidad monetaria suficiente como para no tener la necesidad de pedir un préstamo.

$$G3=0 \text{ €/año}$$

- Costes de investigación (G4): Todas las empresas necesitan invertir parte de su beneficio en el asesoramiento sobre nuevas vías de investigación, ya que este parámetro tiene una gran influencia en el avance de la empresa.

Su valor debe estar entre el 2.4 y el 3.5% del inmovilizado. En este caso se ha supuesto un porcentaje del 3% porque se considera este un aspecto importante en cuanto a la evolución de la empresa.

$$G4=0.03 \cdot I= 4.659.539,764 \text{ €/año (4,66 M€/año)}$$

Finalmente, se suman todos los componentes de los costes generales para obtener un valor global.

$$G=G1+G2+G3+G4=21.044.900,4 \text{ €/año (21,04 M€/año)}$$

Y los costes globales asociados a la producción representan la suma de los costes de fabricación (M) y los costes generales (G).

$$\text{Costes anuales de producción} = 203.104.463,00 \text{ €/año (203,10 M€/año)}$$

7.3. Ingresos por ventas y rentabilidad de la planta

7.3.1. Ingresos por ventas

El objetivo principal de la planta *Simio* es la producción de caprolactama, sin embargo también se obtiene como subproducto sulfato de amonio de una pureza del 100% que tiene una buena salida al mercado de fertilizantes.

Para calcular los ingresos anuales de la empresa se ha de considerar el número de horas trabajadas, la cantidad anual producida tanto de producto como de subproducto y el precio de ambos.

Los empresa produce durante 300 días al año y 24 horas al día, de manera que se tiene un tiempo de producción total de 7200 h/año. En la *Tabla 7.3.1* se muestran todos los datos de los productos y el valor total de los ingresos anuales.

Tabla 7.3.1. Ingresos anuales por ventas

Producto	Pureza	Cantidad (kg/h)	Cantidad anual (kg/año)	Precio (€/kg)	Ingresos (€/año)	Ingresos (M €/año)
ϵ -Caprolactama	99,86	6554,99	47195928	2,041	96326889,05	96,33
Sulfato de amonio	100	11658,17	83938824	0,191	16032315,38	16,03
					TOTAL	112,36

7.3.2. Cálculo del Net Cash Flow

A continuación, se estudiará la rentabilidad de la planta con el método del Net Cash Flow o flujo neto de caja, que consiste en cuantificar todos los flujos entrantes y salientes de dinero anuales desde que se realiza la inversión inicial. Este método es un método a priori que se hace normalmente para ver qué beneficios tendrá la empresa antes de construirla, para comprobar si el proyecto es viable.

El método utilizado considera el inmovilizado o la inversión inicial, los costes de fabricación y generales y los ingresos por ventas. No obstante, no se tiene en cuenta la actualización del dinero a lo largo del tiempo.

Para la realización de los balances económicos se han de tener en cuenta una serie de parámetros.

- Vida útil de la planta: Se considera una vida útil de la planta de 15 años y se asume que al final de la vida útil de la planta se recupera la cantidad total del valor del terreno y el capital circulante.
- Construcción eficio: Se considera que el período de construcción de la planta es de dos años y se divide el coste del inmovilizado en dos partes iguales.
- Impuestos: Se consideran los impuestos anuales como un 36% de la base imponible del año anterior. La base imponible presenta el mismo valor que los beneficios brutos siempre y cuando estos sean positivos. En cambio, si existen pérdidas la base imponible es igual a cero. Al año siguiente de haber presentado una pérdida se puede descontar del beneficio esta pérdida para así pagar menos impuestos.

El período para descontar las pérdidas de los impuestos es de 5 años y se puede repartir como mejor convenga a la empresa.

- Beneficios: se considera que el precio del producto se mantiene constante durante la vida útil de la planta y que tanto el producto como el subproducto tienen una salida total al mercado.
- Valor residual: El valor residual es la suma de dinero que se puede recuperar al final de la vida operativa de la planta, en el caso en que se pudiera vender algún equipo o maquinaria. En este caso el valor residual se ha considerado cero debido a que por lo general en las industrias químicas los gastos de desmantelamiento de la planta suponen el mismo importe que las ganancias obtenidas al vender la maquinaria. El único importe que se recupera es el valor del terreno.
- Amortización: es el coste asociado a la pérdida de valor del inmovilizado y es un factor muy importante en el cálculo de la rentabilidad de una planta química. Se considera una amortización regresiva que es la más utilizada en la industria y se basa en el coste de reposición, es decir, se paga mucho al principio y poco al final. De entre los diferentes métodos de cálculo de amortizaciones regresivas se ha utilizado la suma de dígitos, que se calcula mediante las *Ecuaciones 7.3.1 y 7.3.2*.

$$A_i = I \cdot \frac{(t-(n-1))}{z} \quad (\text{Ec. 7.3.1.})$$

$$z = \frac{t(t+1)}{2} \quad (\text{Ec. 7.3.2})$$

Donde:

A_i : Amortización del año “i”

I: Inversión inicial sin tener en cuenta el terreno porque se recupera (capital inmovilizado)

t: vida útil de la planta

n: año del estudio

Para el balance económico se calcula primeramente el NCF sin amortización utilizando la *Ecuación 7.3.3*.

$$NCF_1 = V - C \quad (\text{Ec. 7.3.3})$$

Donde:

V: Ventas

C: Costes

Este valor del NCF nos ayuda a tener una idea de la situación económica de la empresa en cada año pero no tienen en cuenta ni la amortización ni los impuestos. Tal y como se ha comentado anteriormente para tener en cuenta los impuestos es necesario conocer el valor de la base imponible, que se calcula según indica la *Ecuación 7.3.4*.

$$\text{Base imponible} = V - C - A \quad (\text{Ec. 7.3.4})$$

Donde:

A: Amortización

Una vez cuantificados los impuestos se calcula el NCF real como la suma del NCF_1 más los impuestos. La ecuación general para determinar el NCF real de cada año se muestra a continuación.

$$\text{NCF}_i = (-I - CC + R + X)_n + (V - C)_n - ti \cdot (V - C - A)_{n-1} \quad (\text{Ec. 7.3.5})$$

Donde:

I: Capital inmovilizado

CC: capital circulante

R: Ingresos por valor residual

X: Ingresos o costes que no se han considerado en otros apartados

ti: tasa de impuesto (36%)

n: año del estudio

Tabla 7.3.2. Net Cash Flow[illegible]

7.3.3. Estudio del rendimiento económico

Como se puede observar en la *Tabla 7.3.1.* los beneficios brutos son negativos durante todos los años de vida útil de la planta. Esto es debido a que los costes de operación (M+G) resultan demasiado elevados en comparativa con el beneficio obtenido. De manera que habría que hacer un aumento de producción o estudiar una vía óptima para la producción de caprolactama. Si se consiguiera un mejor aprovechamiento energético los costes anuales se verían considerablemente reducidos debido a que los costes de servicios suponen una tercera parte de los costes totales de fabricación y gerencia.

Otra posible mejora para la viabilidad económica de la planta sería reformar el proceso para obtener una caprolactama más pura que se pudiera vender a un precio más elevado. Además, el precio de la materia prima supone un coste considerable en cuanto al coste global. Por lo tanto, otra de las soluciones que se podría llevar a cabo sería partir de reactivos más económicos como podría ser el fenol o el amoníaco, aunque esto supusiera una inversión inicial más elevada. Para una información más detallada sobre las posibles mejoras y ampliaciones a realizar, que ayudarían a obtener unos resultados más adecuados económica y ambientalmente, se aconseja consultar el *Apartado 12 de Ampliaciones y Mejoras.*

7.3.4. Cálculo del valor actual neto (VAN) y de la tasa interna de retorno (TIR)

Dentro de los métodos de selección de alternativas de inversión se pueden utilizar métodos actualizados, que tienen en cuenta el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial. Al utilizar estos métodos se tiene una idea más real del riesgo que supone el proyecto, debido a que penalizan por recuperar el dinero al final de la vida útil.

Tanto el cálculo del valor actual neto como el cálculo de la tasa de retorno (rentabilidad por DCF) son métodos actualizados. El primero de ellos consiste en calcular la suma de los valores actuales de los futuros ingresos y los costes i depende del interés del capital (i) y de los años de vida de la planta (n), tal y como se muestra en la *Ecuación 7.3.6.*

$$VAN = \sum_{n=1}^{n=t} \frac{NCF}{(1+i)^n} \quad (\text{Ec. 7.3.6})$$

En este caso lo que se hace es representar la curva del VAN para diferentes intereses (del 5 al 40% con incrementos de 5) y comprobar que valores de interés dan un VAN positivo. Si el VAN es cero quiere decir que ni estamos ganando ni estamos perdiendo y si es negativo no tiene ningún sentido realizar el proyecto. Por lo tanto, interesa que el VAN sea lo más positivo posible.

Además, con la tasa de retorno interno (TIR) se determina el interés que da un valor del VAN igual a cero o lo que es lo mismo, el interés a partir del cual la empresa empieza a tener beneficios. Interesa que el TIR sea elevado porque significará que a pesar de pagar un interés elevado se tienen beneficios.

En este caso no hubiera resultado necesario realizar el cálculo del VAN y del TIR debido a que los beneficios brutos negativos indican que se va a obtener un valor negativo del VAN durante toda la vida útil de la planta y por lo tanto, ningún valor de TIR es suficiente para obtener beneficios. No obstante, se ha dibujado la curva del VAN para mostrar gráficamente su tendencia. En la *Figura 7.3.1.* se presenta la curva del VAN y en la *Tabla 7.3.3.* los valores utilizados para su representación.

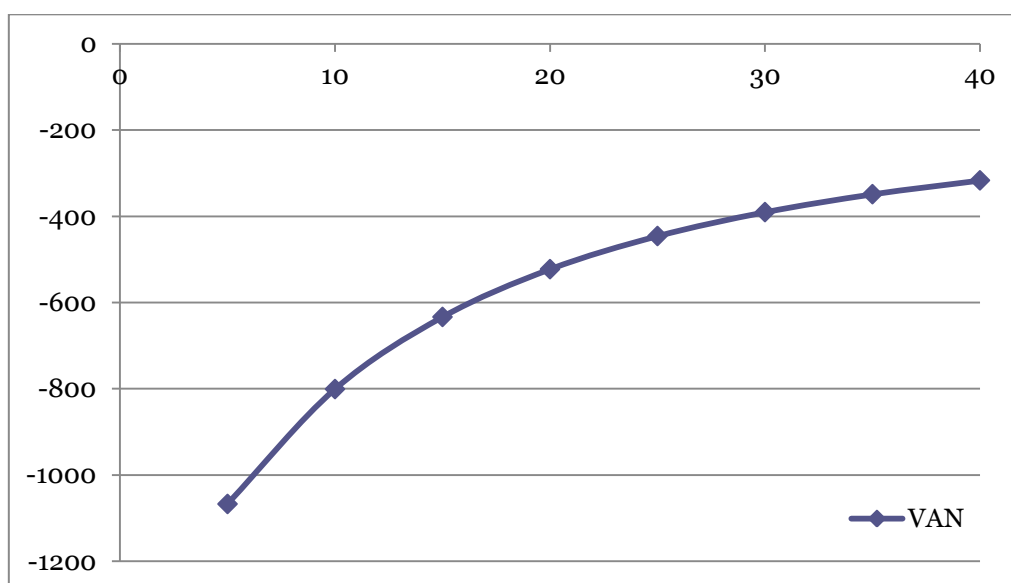


Figura 7.3.1. Curva del VAN

Figura 7.3.3. Valores del VAN

VAN (%)																			VF
5	-84,69	-73,96	-110,48	-78,39	-74,66	-71,10	-67,71	-64,49	-61,42	-58,49	-55,71	-53,06	-50,53	-48,12	-45,83	-43,65	-41,57	16,62	-1067,25
10	-84,69	-70,60	-100,67	-68,18	-61,98	-56,35	-51,22	-46,57	-42,33	-38,48	-34,99	-31,81	-28,91	-26,29	-23,90	-21,72	-19,75	7,54	-800,89
15	-84,69	-67,53	-92,10	-59,67	-51,88	-45,12	-39,23	-34,11	-29,66	-25,80	-22,43	-19,50	-16,96	-14,75	-12,82	-11,15	-9,70	3,54	-633,57
20	-84,69	-64,72	-84,59	-52,51	-43,76	-36,47	-30,39	-25,33	-21,10	-17,59	-14,66	-12,21	-10,18	-8,48	-7,07	-5,89	-4,91	1,72	-522,82
25	-84,69	-62,13	-77,96	-46,46	-37,17	-29,74	-23,79	-19,03	-15,22	-12,18	-9,74	-7,79	-6,24	-4,99	-3,99	-3,19	-2,55	0,86	-446,01
30	-84,69	-59,74	-72,08	-41,30	-31,77	-24,44	-18,80	-14,46	-11,12	-8,56	-6,58	-5,06	-3,89	-3,00	-2,30	-1,77	-1,36	0,44	-390,50
35	-84,69	-57,53	-66,84	-36,88	-27,32	-20,24	-14,99	-11,10	-8,23	-6,09	-4,51	-3,34	-2,48	-1,83	-1,36	-1,01	-0,75	0,23	-348,95
40	-84,69	-55,47	-62,15	-33,07	-23,62	-16,87	-12,05	-8,61	-6,15	-4,39	-3,14	-2,24	-1,60	-1,14	-0,82	-0,58	-0,42	0,12	-316,89

7.3.5. Cálculo del Pay Back

Otro método de estudio de la rentabilidad es el cálculo del Pay Back. Se trata de un método convencional que resulta fácil de aplicar y entender.

Como su nombre indica consiste en el cálculo del tiempo que se va a tardar en conseguir que la suma de los ingresos netos sea igual a la inversión. Sin embargo, con el cálculo del Pay-Back no se tiene en consideración el momento en que se reembolsa el capital ni presenta información sobre lo que ocurrirá una vez recuperada la inversión.

Se calcula utilizando la *Ecuación 7.3.7*.

$$Pay - Back = \frac{Inmovilizado}{Beneficios - Costes} \quad (Ec. 7.3.7)$$

En este caso no se ha determinado el Pay-Back debido a que se obtienen en todo momento valores de beneficio-costes negativos y por lo tanto la empresa no sería nunca rentable en las condiciones actuales.

7.4. Estudio de la viabilidad de la planta

Debido a la inviabilidad económica de la planta sería necesario realizar una serie de cambios y mejoras para poder llevar a cabo este proyecto. Inicialmente, se pensó que el problema se podría solucionar con un aumento de la producción. No obstante, se recalcularon los costes de producción y generales para un aumento de producción del 100% y del 200% y en ambos casos los costes anuales superaban a las ventas.

Por lo tanto, la solución resulta algo más compleja y se tendría que hacer un amplio estudio económico para una minimización de los costes de cada una de las secciones. Una de las mejoras que ya se ha comentado con anterioridad sería iniciar la producción con amoníaco y fenol. A pesar del aumento del coste del inmovilizado al haber de realizar una ampliación, esta modificación supondría una disminución considerable de los costes de producción y generales, debido a que los nuevos reactivos utilizados son más económicos.

Otra de las modificaciones que se debería realizar sería un mejor aprovechamiento de la energía, debido a que se trabaja con reacciones muy exotérmicas y sería más rentable la disposición de turbinas de vapor o sistemas de co-generación.

Por otro lado se debería realizar una revisión de toda la maquinaria utilizada y decidir que equipos podrían ser cambiados por una opción más económica pero igualmente viable y segura. Además, el precio del catalizador utilizado (Pd/C) resulta excesivamente caro y sería necesario cambiar de proveedor o utilizar otro catalizador más económico que cumpliera con las mismas funciones.

Tampoco se puede obviar que si se obtuviera un producto con una pureza más elevada este se podría vender a un precio mayor, incrementando así los beneficios. Para ello se necesitaría una mejor separación de las impurezas presentes con la caprolactama, que en este caso son únicamente agua.

Por último, resultaría más realista realizar el cálculo del Net Cash Flow para una vida útil de la planta de entre unos 25 y 30 años y así el aumento de la inversión necesario para realizar todas las mejoras que se han propuesto se vería contrarestado.

7.5. Financiación y recursos propios

A continuación se presentan diferentes opciones para revertir la tendencia de la empresa y que esta pueda ser viable y dar un resultado económico positivo.

7.5.1. “Venture Capital”

Existen empresas de crédito que actúan como un socio capitalista más. Aportan capital y reciben a cambio un número de acciones determinado previamente. Para optar a este crédito es necesario presentar el proyecto de empresa a la entidad de crédito y que ésta lo vea una buena inversión y decida entrar en el negocio.

Ésta opción es mejor que solicitar un préstamo bancario, ya que si la empresa no tiene éxito en el mercado, el dinero invertido por la entidad de crédito no resulta una deuda a largo plazo para la empresa sino que es una pérdida más de un socio.

7.5.2. Emisión de Acciones

Un buen método de autofinanciación es sacar a Bolsa un determinado número de acciones, normalmente va de un 15 a un 20%. Lo que se pretende es que los inversores compren acciones de tal manera que nuestro capital aumente. Según el valor de mercado que tenga la empresa dichas acciones tendrán más o menos valor.

7.5.3. Cooperación entre empresas (Sponsorización)

La caprolactama está presente en multitud de productos cotidianos. Existen grandes empresas que los usan a diario. La intención es financiarse mediante una de estas grandes empresas. Podemos abaratar precios o cooperar con ellos mediante materias primas u otros materiales a cambio que nos proporcionen financiación para emprender nuestro proyecto.

7.5.4. Inversiones específicas

Con el objetivo de revertir la estructura de beneficios, en caso de que fuese negativa, se realizaría una inversión específica de las vistas en el apartado 12 de la memoria, mediante la ampliación de capital de las acciones cotizadas en Bolsa. Para la compra unas turbinas que proporcionen mayor eficiencia a la empresa y revertir a un cash flow positivo.