

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ÓXIDO DE ETILENO

Trabajo final de grado
Grado en Ingeniería Química



Paula Lafuente Simó
Joan Ramón Pájaro Crespo
Anabel Rodríguez Rengel
Carlos Salgado Espinosa
Ferriol Viñas Francisco
Veronica Fernanda Zaldivar Sánchez

Tutor: Marc Perís

Año académico: 2019 - 2020

CAPÍTULO VII



Evaluación económica

ÍNDICE

7. Evaluación económica.....	2
7.1 Introducción	2
7.2 Estudio de mercado	3
7.3 Valoración económica de la planta (Inversión inicial)	8
7.3.1 Capital inmovilizado	8
7.3.2 Capital circulante.....	23
7.3.3 Puesta en marcha.....	24
7.4 Costes	25
7.4.1 Costes de fabricación	25
7.4.2 Distribución costes de fabricación	31
7.4.3 Costes generales	32
7.4.4 Costes totales.....	33
7.5 Ingresos por ventas	33
7.6 Rentabilidad del proyecto	34
7.6.1 Amortización	34
7.6.2 Flujos Netos de Caja	35
7.6.3 Valor Actual Neto y Tasa de Rentabilidad Interna	37
7.6.4 Recuperación de la Inversión inicial.....	38
7.6.5 Estudio de sensibilidad.....	38
7.6.6 Comparación con diferentes vidas útiles de proyecto.....	42
7.7 Bibliografía	43

7. Evaluación económica

7.1 Introducción

En este capítulo se pretende determinar la viabilidad del proyecto, es decir, poder conocer si se trata de un proyecto finalmente rentable. En este caso, la viabilidad económica de cualquier proyecto es uno de los factores más determinantes a la hora de decidir si se tira hacia delante o no. Ya puede ser un diseño perfecto de la planta, en este caso, que, si no es rentable, es decir, los beneficios son inferiores a los costes que genera todo el proceso, dicho proyecto no se realizará.

Por esta razón, se ha procedido a realizar la evaluación económica estimando, en primer lugar, la inversión inicial, es decir, coste del terreno más los costes de los equipos mediante el método algorítmico, los cuales forman parte del capital inmovilizado y, en segundo lugar, el capital circulante. En último lugar, se han calculado los diferentes costes de la planta, como los costes de fabricación/producción o los costes generales que incluyen, por ejemplo, costes administrativos y comerciales.

Por último, la rentabilidad del proyecto se ha determinado mediante el método de los Flujos Netos de Caja (Net Cash Flow), el cual consiste en calcular los flujos de caja durante el periodo de la vida útil estimado de la planta, incluyendo también la determinación del Valor Actual Neto (VAN) y el de la Tasa de Rentabilidad Interna (TRI). Así mismo se realizarán diferentes estudios de sensibilidad para comprobar que variables afectan con mayor proporción a la rentabilidad de la planta.

7.2 Estudio de mercado

Para la producción de óxido de etileno se utilizan como reactivos el oxígeno y el etileno. El etileno es uno de los compuestos químicos orgánicos más importantes en la industria química y el más utilizado en todo el mundo. Tiene una producción mundial de más de 150 millones de toneladas (2016). El oxígeno es el elemento más abundante, por masa, en la biosfera, el aire, el mar y el suelo terrestre. Se emplean dos métodos diferentes para producir 100 millones de toneladas al año de oxígeno extraído del aire para usos industriales. El 55 % de su producción mundial se consume en la producción de acero, el 25 % se dedica a la industria química y el 20 % restante se utiliza para aplicaciones medicinales, oxicorte, como oxidante en combustible de cohetes y en tratamiento de aguas.

El óxido de etileno es un producto químico intermedio que no se puede utilizar directamente, sino que se tiene que hacer reaccionar para producir distintos productos. Los etilenglicoles (mono-, di-, trietilenglicol) constituyen la salida más grande del óxido de etileno, representando un 73 % del mercado de OE en 2018. Otros usos finales son etoxilatos, etanolaminas, éteres de glicol o polietilenglicol.

En la siguiente figura se puede observar el consumo mundial de óxido de etileno.

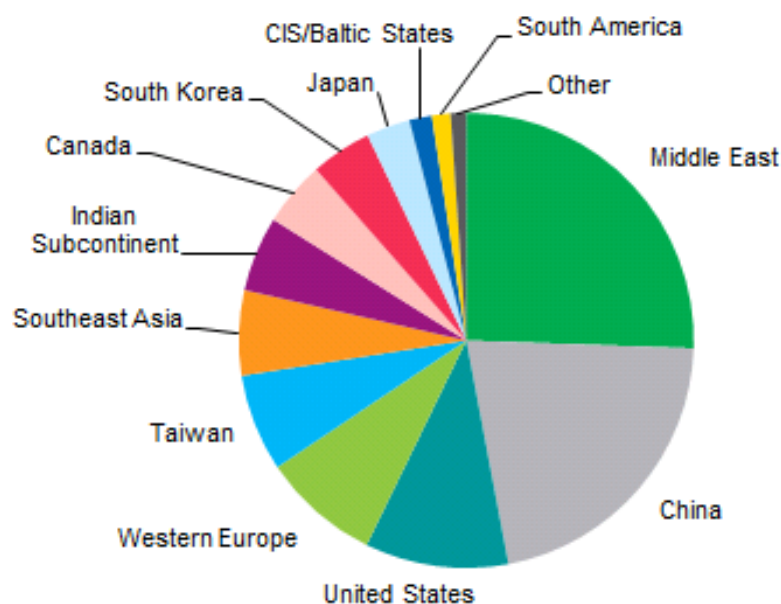


Figura 7.1. Consumo mundial de óxido de etileno.

Como se observa en la **figura 7.1** anterior, [8], el consumo de OE se da principalmente en el medio este y en China, ya que casi el 50 % del consumo es de ellos. Después les sigue Estados Unidos, Europa occidental, Taiwán y el sureste asiático, que representan poco más del 25 % del consumo mundial.

La producción de derivados que no son etilenglicol requiere una purificación adicional para producir OE de alta pureza. Esta proporción de OE, que necesita una purificación adicional, puede variar según la región y se comercializa, principalmente, dentro de la región donde se produce, ya que no se puede transportar fácilmente.

Des del 2008, el OE se produce principalmente en el noreste de Asia, Oriente Medio y América del Norte. En estas tres regiones hay un gran consumo de EO debido a que tienen una gran producción de monoetilenoglicol (gran consumidor de EO).

En las últimas dos décadas, la producción de OE ha crecido a un ritmo rápido en el noroeste de Asia, por los desarrollos de capacidad en China para servir el creciente mercado de MEG (monoetilenoglicol). En Oriente Medio ha estado bastante activo, aumentando, entre 2005 y 2010, unos 3,4 millones de toneladas métricas de nueva capacidad de OE. Pero el ritmo de las nuevas incorporaciones se ha desacelerado en esta región últimamente.

La demanda general de OE está relacionada con la economía general y, cada vez más, con los países emergentes donde los niveles de vida están haciendo que aumente el consumo de polímeros y productos químicos que se utilizan para la producción de envases, fibras textiles, jabones, detergentes...

Igual que pasa con otros productos petroquímicos, la industria del OE es cíclica y el equilibrio entre la oferta y la demanda hace que el estado de la industria se impulse. Cuanto mayor sea la competencia entre los productores, menores serán las tasas de operación y los márgenes. Cuando la demanda alcance gradualmente la producción, las tasas de operación se mantendrán firmes y los márgenes se expandirán.

La producción mundial de óxido de etileno es de 14,396 millones de toneladas al año. Esta producción se lleva a cabo ya que se produce en instalaciones con capacidad superior a las 100 tn/año. Las capacidades mundiales de óxido de etileno varían mucho según su ubicación, en la siguiente tabla se puede observar la diferencia de capacidad entre las localidades con valores más altos.

Tabla 7.1. Capacidades mundiales de óxido de etileno.

Localización	Capacidad, 10 ³ tn/año	Localización	Capacidad, 10 ³ tn/año
Australia	40	Canadá	775
Oeste de Europa	2615	Este de Europa	950
Asia	3845	Latinoamérica	720
Medio Este	1370	Estados Unidos	4083

Se observa en la **Tabla 7.1** que, en Estados Unidos, Asia y en el oeste de Europa, hay una producción mayor, llegando, conjuntamente, al 73% de la capacidad mundial. Se observa que en el oeste de Europa los países con más capacidad son Bélgica, Alemania y Países Bajos, y en Asia son China, Japón y Corea del sud.

El precio del óxido de etileno, como se ha comentado anteriormente, varía ya que depende de sus reactivos. Uno de sus reactivos es el etileno, y el precio de este determina el del OE. En la siguiente figura se puede observar la evolución del precio del OE durante los últimos seis meses, y se observa que a mediados del año 2019 su precio era alto, entre los 1.120 y los 1.140 millones de dólares, y que a finales de año tuvo una gran caída que ha ido teniendo subidas y bajadas en los últimos 5 meses.

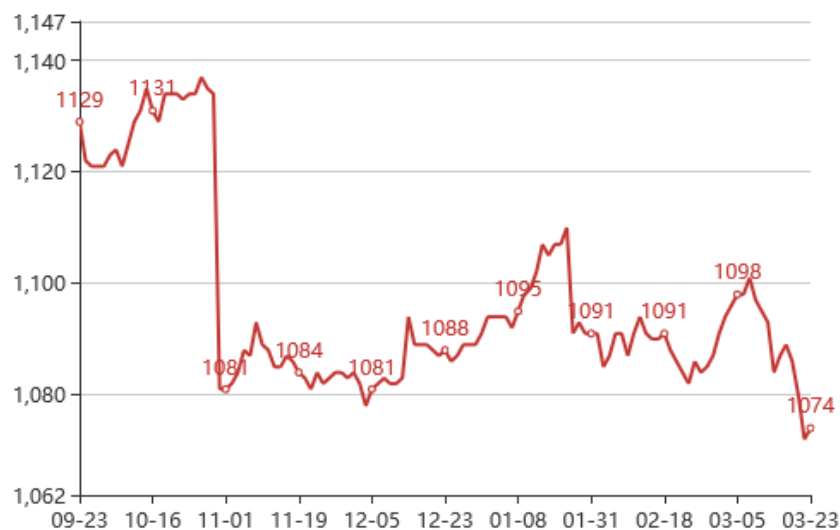


Figura 7.2. Evolución del precio del óxido de etileno durante los últimos seis meses.

Observando todos los cambios de precios que tiene el producto óxido de etileno en la **Figura 7.2, [4]**, se hace una media de los últimos tres meses para obtener un valor de 1.090 \$/tn, que son 988,7 €/tonelada. No obstante, se ha comprobado como el precio podría llegar hasta los 1300 €/tn, **[7]**, por lo que se ha buscado obtener el precio más elevado para incrementar los ingresos por ventas.

En cuanto a los reactivos, en la planta de producción de óxido de etileno, tanto el oxígeno como el etileno vienen por tubería de un complejo petroquímico cercano.

El precio de etileno también ha tenido una gran variación de precios. En las siguientes tablas se puede observar la variación del precio durante los últimos años.

Tabla 7.2. Evolución del precio de etileno durante los últimos años.

Año	2014	2015	2016	2017	2018
Precio (\$/tn)	1418	1098	1093	1196	1250

Tabla 7.3. Variación del precio del etileno durante el 2019.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Precio (\$/tn)	1000	1141	1012	996	996	810

Observando las dos **Tablas 7.2 y 7.3** anteriores, [3], se observa que el etileno tenía un precio alto y que en los últimos años ha ido variando bastante teniendo subidas y bajadas. Durante el 2019 se observa una gran disminución del precio obteniendo una media de 992,5\$/tn, que son 930 €/tn.

El precio del oxígeno tiene un valor de 130\$/tn. Pasando este valor a las unidades usadas en todas las anteriores substancias se obtiene un valor de 120 €/tn (dicho precio se nos fue comunicado directamente por el responsable de la asignatura).

A continuación, se realiza un análisis DAFO, que es una técnica de estudio para analizar las características internas (Debilidades y Fortalezas) y su situación externa (Amenazas y Oportunidades).

Tabla 7.4. Análisis DAFO de la planta ETHOXID.

DEBILIDADES		AMENAZAS
Puntos débiles	<ul style="list-style-type: none"> -Poca experiencia en el mercado. La empresa ETHOXID es una nueva creación y aún no es reconocida en el mercado. 	<ul style="list-style-type: none"> -Hay empresas competitivas con años de experiencia y conocidas a nivel mundial. Esto implica que haya un precio muy competitivo. -Variación del precio de óxido de etileno debido a su dependencia del precio de etileno.
FORTALEZAS		OPORTUNIDADES
Puntos fuertes	<ul style="list-style-type: none"> -Los proveedores de los reactivos se encuentran cerca de la planta de producción y se reciben por tuberías, hecho que evita el transporte de estas. -Producción durante 320 días al año. -Empresa con capacidad de crecimiento y de innovación. -Obtención de un producto con alto nivel de pureza (99,96%). 	<ul style="list-style-type: none"> -Se cree que la demanda de óxido de etileno va a crecer. -Demanda continua del producto durante todo el año. -Oportunidad de venta en todo el mundo. -Buena recepción de la planta por la creación de trabajo.

Observando las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades de la planta de la **Tabla 7.4**, se observa que, aunque la planta tiene ciertos puntos débiles, tiene un número mayor de puntos fuertes. Por lo tanto, si se tiene una buena capacidad negociadora y se pone el producto a un precio competitivo se puede conseguir convertir las amenazas en fortalezas y, de esta manera, se conseguiría hacer una estrategia de crecimiento para conseguir que la empresa pertenezca a las empresas reconocidas mundialmente.

7.3 Valoración económica de la planta (Inversión inicial)

La inversión inicial es aquel capital que es necesario disponer para poder construir la planta tanto a efectos fiscales como a efectos de construcción. Así mismo, ésta se estima partir del capital inmovilizado, el capital circulante y los costes de puesta en marcha, teniendo en cuenta que el capital inmovilizado depende directamente del coste del terreno y de los equipos de la planta, así como su instalación.

7.3.1 Capital inmovilizado

El capital inmovilizado incluye tanto los costes por los terrenos como los costes de compra de equipos y su instalación. Para poder estimar su valor, se ha usado en método de factor múltiple de VIAN.

7.3.1.1 Coste del terreno

Según un estudio realizado sobre los solares industriales en la Canonja, se ha podido realizar una estimación del coste/precio del metro cuadrado en el polígono, **[6]**, saliendo a un coste aproximado de 100 €/m². Por lo que, sabiendo que la parcela dispone de 53.235 m² de área, el coste final del terreno será:

$$C_{\text{terreno}} = A_{\text{parcela}} \cdot P_{\text{parcela}} = 53235 \text{ m}^2 \cdot 100 \text{ €/m}^2 = 5.323.500 \text{ €}$$

Dónde:

C_{terreno} = coste final del terreno (€)

A_{parcela} = área de la parcela (m²)

P_{parcela} = precio del m² de la parcela (€/m²)

7.3.1.2 Coste de equipos

En este apartado se procede al cálculo del coste de los diferentes equipos de la planta mediante diferentes métodos. El más usado es el método algorítmico de J.R: Couper, [9]. Sin embargo, se han usado dos métodos más para la comprobación de algunos costes de equipos más delicados como compresores o bombas. Dichos métodos son: método de correlaciones de Sinnott R & Towler G, [10], y un método gráfico que se basa en un evaluador ICARUS, [5].

No obstante, dichos costes serán siempre costes sin la instalación correspondiente, factor que se tendrá en cuenta más adelante en el cálculo de la inversión mediante el método VIAN. Para actualizar los precios del año 2002 del método algorítmico al año 2019 se han utilizado los índices CEPCI de 395.6 y 603.1 respectivamente, [1].

Reactores multitubulares verticales

Para el caso de los reactores y siguiendo el método algorítmico para reactores a presión verticales, el cálculo del coste final será el siguiente:

Ejemplo de cálculo para el reactor R-200A:

$$C = F_M \cdot C_b + C_a$$

$$C_b = 1,218 \cdot \exp [9,100 - 0,2889 \cdot (\ln W) + 0,04576 \cdot (\ln W)^2]$$

$$C_a = 300 \cdot D^{0,7396} \cdot L^{0,7068}$$

$$F_M = 2,1 \text{ acer } 316L$$

$$W = V_{carcassa} \cdot \rho_{acer \ 316L} = 2,52 \text{ m}^3 \cdot 8000 \text{ kg/m}^3 = 20160 \text{ kg} = 44352 \text{ lb}$$

$$V_{carcassa} = (2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L) \cdot t_c = (2 \cdot \pi \cdot 1,74^2 + 2 \cdot \pi \cdot 1,74 \cdot 7,5) \cdot 0,025 = 2,52 \text{ m}^3$$

$$C_b = 1,218 \cdot \exp [9,100 - 0,2889 \cdot (\ln 44352) + 0,04576 \cdot (\ln 44352)^2] = 93431,38$$

$$C_a = 300 \cdot 11,45 \text{ ft}^{0,7396} \cdot 24,60 \text{ ft}^{0,7068} = 17511,64$$

$$C = F_M \cdot C_b + C_a = 2,1 \cdot 93431,38 + 17511,64 = 213717,54 \text{ \$}_{2002}$$

$$C = 213717,54 \text{ \$}_{2002} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2002}} = 213717,54 \text{ \$}_{2002} \cdot \frac{603,1}{395,6} = 325.816,60 \text{ \$}_{2019}$$

Dónde:

C = coste del reactor (€)

F_M = factor de coste según el material del equipo acero 316L

C_b = coste dependiendo del peso del reactor (€)

C_a = coste dependiendo del diámetro y la longitud (€)

W = peso del reactor (lb)

D = diámetro del reactor (ft)

L = longitud del reactor (ft)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de los reactores, la siguiente **Tabla 7.5** resume los costes de todos los reactores de la planta:

Tabla 7.5. Estimación de los costes de los reactores multitubulares verticales.

Tipo	Equipo	F_M	C_a (\$)	C_b (\$)	C (\$)	C (€)
Reactores	R-200A	2,1	17.511,64	93.431,38	325.817	299.752
	R-200B	2,1	17.511,64	93.431,38	325.817	299.752
	R-200C	2,1	17.511,64	93.431,38	325.817	299.752
Coste total reactores (€)						899.256

Columnas de absorción

Para el caso de las columnas de absorción y siguiendo el método algorítmico para columnas de separación, en este caso, absorción, el cálculo del coste final será el siguiente:

Ejemplo de cálculo para la columna de absorción C-300:

$$C = 1,218 \cdot [f_1 \cdot C_b + N \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot C_t + C_{pt}]$$

$$C_b = 1,218 \cdot \exp[6,629 + 0,1826 \cdot (\ln W) + 0,02297 \cdot (\ln W)^2] \quad 4250 < W < 980000 \text{ lb}$$

$$C_{pt} = 300 \cdot D^{0,7396} \cdot L^{0,7068} = 300 \cdot 11,78^{0,7396} \cdot 41,34^{0,7068} = 25810,17$$

$$3 < D < 21 \quad 27 < L < 40 \text{ ft}$$

$$C_t = 457,7 \cdot \exp(0,1739 \cdot D) = 457,7 \cdot \exp(0,1739 \cdot 11,78) = 3550,19 \quad 2 < D < 16 \text{ ft}$$

$$N = \text{número de platos} = 10$$

$$f_1 = 2,1 \text{ acer 316L}$$

$$f_2 = 1,401 + 0,0724 \cdot D = 1,401 + 0,0724 \cdot 11,78 \text{ ft} = 2,25$$

$$f_3 = 0,95 \text{ platos tipo Sieve}$$

$$f_4 = 2,25 / (1,0414)^N = 2,25 / (1,0414)^{10} \approx 1,50 \text{ cuando } N < 20$$

$$W = 7,01 \text{ m}^3 \cdot 8000 \text{ kg/m}^3 = 56080 \text{ kg} = 123376 \text{ lb}$$

$$C_b = 1,218 \cdot \exp[6,629 + 0,1826 \cdot (\ln 123376) + 0,02297 \cdot (\ln 123376)^2] = 184160,33$$

$$C = 1,218 \cdot [2,1 \cdot 184160,33 + 10 \cdot 2,25 \cdot 0,95 \cdot 1,50 \cdot 3550,19 + 25810,17] = 641124,54 \text{ \$}_{2002}$$

$$C = 641124,54 \text{ \$}_{2002} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2002}} = 641124,54 \text{ \$}_{2002} \cdot \frac{603,1}{395,6} = 977407 \text{ \$}_{2019}$$

Dónde:

C = coste de la torre de absorción (€)

f_1, f_2 = factores de coste según el material de la torre acero 316L

f_3 = factor de coste según el tipo de plato

f_4 = factor de coste según el número de platos

C_b = coste dependiendo del peso de la columna (€)

C_{pt} = coste dependiendo del diámetro y la longitud (€)

C_t = coste dependiendo del diámetro (€)

N = número de platos

W = peso del reactor (lb)

D = diámetro de la columna (ft)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de las columnas de absorción, la **Tabla 7.6** resume los costes de todas las columnas de la planta:

Tabla 7.6. Estimación de los costes de las columnas de absorción de la planta.

Tipo	Equipo	C_b (\$)	C_{pt} (\$)	C_t (\$)	N	f_1	f_2	f_3	f_4	C (\$)	C (€)
Columnas de absorción	C-300	184.160,3	25.810,17	3.550,19	10	2,1	2,25	0,95	1,5	977.407	899.215
	C-401	27.809,39	15.607,49	1.914,88	10	2,1	1,99	1,59	1,5	306.179	281.685
Tipo	Equipo	C_b (\$)	C_{pt} (\$)	C_p (\$)	N	f_1	V_p	f_3	f_4	C (\$)	C (€)
Columna absorción empacada	C-500	82.323,39	10.020,08	39,3	20	2,1	665	-	-	388.197	357.141
Coste total columnas de absorción (€)											1.538.041

Columnas de destilación

Para el caso de las columnas de destilación y siguiendo el método algorítmico para columnas de separación, en este caso, destilación, el cálculo del coste final será el siguiente:

Ejemplo de cálculo para la columna de destilación C-400:

$$C = 1,218 \cdot [f_1 \cdot C_b + N \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot C_t + C_{pt}]$$

$$C_b = 1,218 \cdot \exp \left[7,123 + 0,1478 \cdot (\ln W) + 0,02488 \cdot (\ln W)^2 + 0,0158 \cdot \left(\frac{L}{D} \right) \cdot \ln \left(\frac{T_b}{T_D} \right) \right] \quad 9020 < W < 2.470.000 \text{ lb}$$

$$C_{pt} = 249,6 \cdot D^{0,6332} \cdot L^{0,8016} = 249,6 \cdot 9,91^{0,6332} \cdot 36,81^{0,8016} = 17506,08$$

$$2 < D < 24,57 \quad 20 < L < 170 \text{ ft}$$

$$C_t = 457,7 \cdot \exp(0,1739 \cdot D) = 457,7 \cdot \exp(0,1739 \cdot 9,91) = 2564,61 \quad 2 < D < 16 \text{ ft}$$

$$N = \text{número de platos} = 10$$

$$f_1 = 2,1 \text{ acer } 316L$$

$$f_2 = 1,401 + 0,0724 \cdot D = 1,401 + 0,0724 \cdot 9,91 \text{ ft} = 2,12$$

$$f_3 = 0,95 \text{ platos tipo Sieve}$$

$$f_4 = \frac{2,25}{(1,0414)^N} = \frac{2,25}{(1,0414)^{10}} \approx 1,50 \text{ cuando } N < 20$$

$$W = 1,17 \text{ m}^3 \cdot 8000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 9360 \text{ kg} = 20635,27 \text{ lb}$$

$$C_b = 1,218 \cdot \exp \left[7,123 + 0,1478 \cdot (\ln 20635,27) + 0,02488 \cdot (\ln 20635,27)^2 + 0,0158 \cdot \left(\frac{32,81}{9,91} \right) \cdot \ln \left(\frac{0,033}{0,0197} \right) \right] = 78526,76$$

$$C = 1,218 \cdot [2,1 \cdot 78526,76 + 10 \cdot 2,12 \cdot 0,95 \cdot 1,50 \cdot 2564,61 + 17506,08] = 316544,97 \$_{2002}$$

$$C = 316544,97 \$_{2002} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2002}} = 316544,97 \$_{2002} \cdot \frac{603,1}{395,6} = 482.579,05 \$_{2019}$$

Dónde:

C = coste de la torre de destilación (€)

f_1, f_2 = factores de coste según el material de la torre acero 316L

f_3 = factor de coste según el tipo de plato

f_4 = factor de coste según el número de platos

C_b = coste dependiendo del peso y el espesor de la columna (€)

C_{pt} = coste dependiendo del diámetro y la longitud (€)

C_t = coste dependiendo del diámetro (€)

N = número de platos

W = peso del reactor (lb)

D = diámetro de la columna (ft)

L = altura de la columna (ft)

T_b, T_D = espesores de cabezales y cuerpo de la columna (€)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de las columnas de destilación, la **Tabla 7.7** resume los costes de todas las columnas de la planta:

Tabla 7.7. Estimación de los costes de las columnas de destilación de la planta.

Tipo	Equipo	C_b (\$)	C_{pt} (\$)	C_t (\$)	N	f_1	f_2	f_3	f_4	C (\$)	C (€)
Columnas destilación	C-400	78.526,76	17.506,08	2.564,61	10	2,1	2,12	0,95	1,5	482.579	443.973
	C-402	253.691,4	22.916,66	3.410,99	10	2,1	2,24	0,95	1,5	1.233.975	1.135.257
	C-501	140.913,2	9.627,61	2.533,58	10	2,1	2,11	1,59	1,49	526.978	803.388
Coste total columnas de destilación (€)											2.382.618

Intercambiadores de calor.

Para el caso de los intercambiadores de calor y siguiendo el método algorítmico para intercambiadores de calor de carcasa y tubos, el cálculo del coste final será el siguiente:

Ejemplo de cálculo para el intercambiador de calor E-100:

$$C = 1,218 \cdot f_d \cdot f_m \cdot f_p \cdot C_b$$

$$C_b = \exp [8,821 - 0,30863 \cdot (\ln A) + 0,0681 \cdot (\ln A)^2] \quad 150 < A < 12000 \text{ sqft}$$

$$f_d = \exp[-0,9816 + 0,0830 \cdot (\ln A)] \text{ para tipo } U - \text{tube}$$

$$f_d = \exp[-0,9816 + 0,0830 \cdot (\ln 1484)] = 0,69$$

$$f_m = g_1 + g_2 \cdot (\ln A) \text{ donde } g_1 = 0,8603 \text{ y } g_2 = 0,23296 \text{ para acero 316L}$$

$$f_m = 0,8603 + 0,23296 \cdot (\ln 1484) = 2,56$$

$$f_p = 0,7771 + 0,04981 \cdot (\ln A) \text{ para presión de trabajo 6 – 20 atm}$$

$$f_p = 0,7771 + 0,04981 \cdot (\ln 1484) = 1,14$$

$$C_b = \exp[8,821 - 0,30863 \cdot (\ln 1484) + 0,0681 \cdot (\ln 1484)^2] = 26.874,15$$

$$C = 1,218 \cdot 0,69 \cdot 2,56 \cdot 1,14 \cdot 26874,15 = 65712 \$_{2002} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2002}} = 65712 \$_{2002} \cdot \frac{603,1}{395,6}$$

$$= 100.180 \$_{2019}$$

Dónde:

C = coste del intercambiador de calor (€)

f_p, f_m = factores de coste según la presión de trabajo

f_d = factor de coste según el tipo de disposición de los tubos

C_b = coste dependiendo del área de transmisión de calor (€)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de los intercambiadores de calor, la **Tabla 7.8** resume los costes de todos los intercambiadores de carcasa y tubos de la planta:

Tabla 7.8. Estimación de los costes de los intercambiadores de calor de carcasa y tubos de la planta.

Tipo	Equipo	A (m ²)	C _b (\$)	f _d	f _p	f _m	C (\$)	C (€)
Intercambiadores de calor	E-200	203,8	35.499,35	0,71	1,16	2,65	143.962	132.445
	E-201	179,6	53.634,62	0,74	1,19	2,78	243.392	223.921
	E-300	102,4	22.043,44	0,67	1,13	2,49	76.983	70.825
	E-301	16,9	8.595,14	0,58	1,04	2,07	19.782	18.2
	E-302	0,9	4.863,09	0,47	0,92	1,51	5.887	5.416
	E-400	28,7	10.828,44	0,6	1,06	2,2	28.295	26.031
	E-401	11,3	7.397,86	0,56	1,02	1,98	15.418	14.185
	E-500	59,2	15.796,24	0,64	1,1	2,36	48.801	44.897
	E-501	24,5	10.066,02	0,6	1,05	2,16	25.335	23.308
	E-502	36,3	14.356,54	0,63	1,09	2,32	42.659	39.246
	E-503	3,4	5.391	0,51	0,96	1,7	8.218	7.56
	E-504	25,5	10.250,26	0,6	1,06	2,17	35.277	32.455
Coste total intercambiadores de calor (€)								638.489

Tanques de separación gas-líquido

En este caso, y para la estimación del coste de los 2 tanques de separación gas-líquido o evaporación flash, se ha usado un método diferente al método algorítmico: el método de las correlaciones, [10]. Este método sigue la ecuación general siguiente:

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

Dónde:

C = coste de los equipos (\$)

a, b, n = constantes del método según el equipo evaluado

S = parámetro característico del equipo

Para su estimación, se ha considerado que estas torres se tratan de recipientes a presión, cuyo parámetro característico es el peso de las torres en unidades másicas.

Ejemplo de cálculo del tanque de separación gas-líquido T-300:

$$W_{carcasa} = V_{carcasa} \cdot \rho_{acero\ 316L} = 5,78\ m^3 \cdot 8000\ kg/m^3 = 46.268\ kg$$

$$V_{carcasa} = (2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot L) \cdot t_c = (2 \cdot \pi \cdot 1,31^2 + 2 \cdot \pi \cdot 1,31 \cdot 9,5) \cdot 0,065 = 5,78\ m^3$$

$$C = a + b \cdot S^n = 10.000 + 29 \cdot (46.268\ kg)^{0,85} = 277.847\ \$_{2007}$$

$$C = 277.847\ \$_{2007} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2007}} = 277.847\ \$_{2007} \cdot \frac{603,1}{509,7} = 328.761\ \$_{2019}$$

Dónde:

$W_{carcasa}$ = peso de la carcasa del tanque (kg)

$V_{carcasa}$ = volumen de la carcasa del tanque (m^3)

$\rho_{acero\ 316L}$ = densidad del acero 316L (kg/m^3)

t_c = espesor del tanque de separación (m)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de las torres de separación gas-líquido, la siguiente **Tabla 7.9** resume los costes de todos los tanques de la planta:

Tabla 7.9. Estimación de los costes de los tanques de separación gas-líquido de la planta.

Tipo	Equipo	S (kg)	a	b	n	C (\$)	C (€)
Tanques separación gas-líquido	T-300	46.268	10	29	0,85	328.761	302.46
	T-500	68.372	10	29	0,85	453.524	417.242
Coste total de los tanques de separación gas-líquido (€)							719.702

Compresores

Para el caso de los compresores y siguiendo el método algorítmico para compresores centrífugos, el cálculo del coste final será el siguiente:

Ejemplo de cálculo para el compresor K-100:

$$C = 7,90 \cdot (HP)^{0,62} \quad \text{dónde } 200 < HP < 30.000$$

$$C = 7,90 \cdot (3903)^{0,62} = 1331,36 \text{ K\$}_{2002} = 1.331.360 \text{ \$}_{2002}$$

$$C = 1.331.360 \text{ \$}_{2002} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2002}} = 1.331.360 \text{ \$}_{2002} \cdot \frac{603,1}{395,6} = 2.029.685 \text{ \$}_{2019}$$

Dónde:

C = coste de los compresores (\$)

HP = potencia consumida del compresor (HP)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de los compresores, la siguiente **Tabla 7.10** resume los costes de todos los compresores de la planta:

Tabla 7.10. Estimación de los costes de los compresores centrífugos de la planta.

Tipo	Equipo	P (HP)	C (\$)	C (€)
Compresores	K-100	3.903	2.029.685	1.867.310
	K-200	12.680	3.614.996	3.205.876
	K-300	117	246.833	227.086
	K-400	145	263.517	242.436
	K-500	7.950	2.902.916	2.713.523
Coste total compresores (€)				8.029.145

Los diferentes costes de los compresores de la **Tabla 7.10** se han comprobado con otro método, [5], usado según un evaluador ICARUS el cual genera curvas de coste de diferentes equipos según la capacidad de cada uno de ellos. Para el caso de los compresores centrífugos, se ha usado la siguiente gráfica que estima su coste según el caudal de salida en ft³/min del compresor y la presión de trabajo de este en psia.

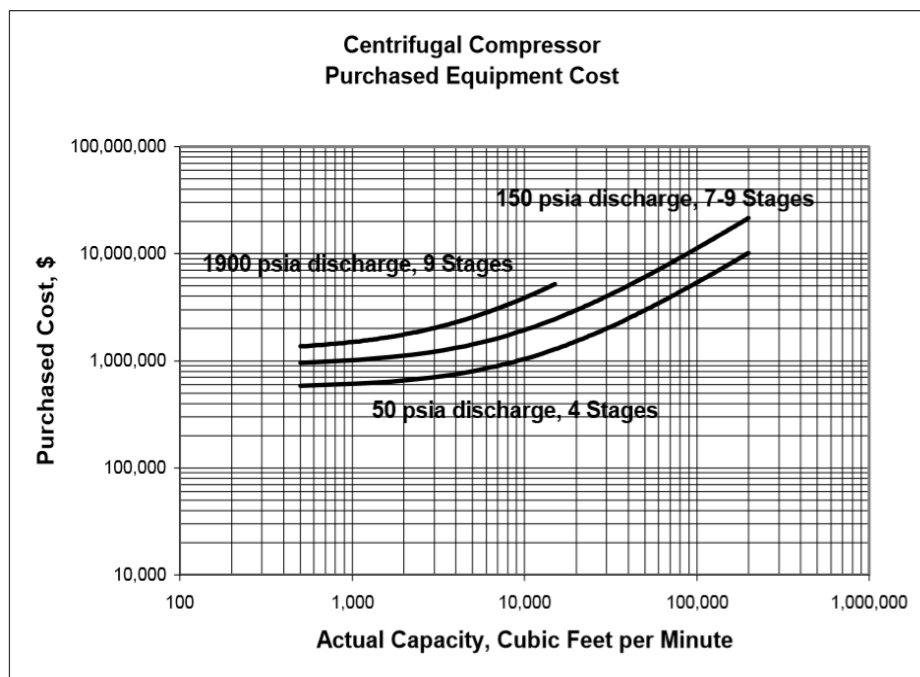


Figura 7.3. Representación gráfica del coste de compresores centrífugos en función del caudal de salida y presión.

Por tanto, y tal como se observa en la **Figura 7.3**, para el ejemplo de cálculo del compresor K-100 y teniendo en cuenta un caudal de salida de 1137 ft³/min y una presión de 290 psia, el coste estimado sería de 1.300.000 \$ teniendo en cuenta que la curva requerida estaría entre la de 1900 psia y la de 150.

No obstante, realizando la actualización al 2019, el coste final sería de 1.981.876 \$ y, pasado a unidades de €, un coste final de 1.823.326 €. Por tanto, si realizamos la comparación con el valor obtenido con el método algorítmico, se observa como los costes son muy parecidos, por lo que se puede suponer que la estimación es acurada.

$$C_{\text{algorítmico}} = 1.867.310 \text{ €} \sim C_{\text{gráfico}} = 1.823.326 \text{ €}$$

Tanques de almacenamiento de óxido de etileno

Para el caso de los tanques de almacenamiento y siguiendo el método algorítmico para tanques de almacenamiento construidos, el cálculo del coste final será el siguiente:

Ejemplo de cálculo para el tanque de almacenamiento T-600A

$$C = 1,218 \cdot F_M \cdot \exp [11,662 - 0,6104 \cdot \ln(V) + 0,04536 \cdot (\ln(V))^2]$$

$$C = 1,218 \cdot 2,7 \cdot \exp[11,662 - 0,6104 \cdot \ln(66043) + 0,04536 \cdot (\ln(66043))^2] = 116.431 \$_{2002}$$

$$C = 116.431 \$_{2002} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2002}} = 116.431 \$_{2002} \cdot \frac{603,1}{395,6} = 177.502 \$_{2019}$$

Dónde:

C = coste de ls tanques de almacenamiento de óxido de etileno (\$)

V = volumen de los tanques de almacenamiento de óxido de etileno (gal)

F_M = factor de coste que depende del material usado (acero 316L)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de los tanques de almacenamiento de óxido de etileno, la siguiente **Tabla 7.11** resume los costes de todos los tanques de la planta, que serán de igual volumen todos:

Tabla 7.11. Estimación de los costes de los tanques de almacenamiento de óxido de etileno de la planta.

Tipo	Equipo	V (m ³)	F _M	C (\$)	C (€)
Tanques de almacenamiento	T-600A	250	2,7	177.502	163.302
	T-600B	250	2,7	177.502	163.302
	T-600C	250	2,7	177.502	163.302
	T-600D	250	2,7	177.502	163.302
	T-600E	250	2,7	177.502	163.302
	T-600F	250	2,7	177.502	163.302
Coste total tanques de almacenamiento OE (€)					979.812

Tanques pulmón de etileno y oxígeno

Para el caso de los tanques pulmón y siguiendo el método algorítmico para tanques de almacenamiento construidos, el cálculo del coste final será el siguiente:

Ejemplo de cálculo para el tanque pulmón de oxígeno T-101

$$C = 1,218 \cdot F_M \cdot \exp [11,662 - 0,6104 \cdot \ln(V) + 0,04536 \cdot (\ln(V))^2]$$

$$C = 1,218 \cdot 2,7 \cdot \exp[11,662 - 0,6104 \cdot \ln(5283) + 0,04536 \cdot (\ln(5283))^2] = 57.135 \$_{2002}$$

$$C = 57.135 \$_{2002} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2002}} = 57.135 \$_{2002} \cdot \frac{603,1}{395,6} = 87.103 \$_{2019}$$

Dónde:

C = coste de ls tanques pulmón de oxígeno y etileno (\$)

V = volumen de los tanques pulmón de oxígeno y etileno (gal)

F_M = factor de coste que depende del material usado (acero 316L)

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de los tanques pulmón, la siguiente **Tabla 7.12** resume los costes de todos los tanques de la planta, incluyendo el de oxígeno T-101 y el de etileno T-102:

Tabla 7.12. Estimación de los costes de los tanques de almacenamiento de óxido de etileno de la planta.

Tipo	Equipo	V (m ³)	F _M	C (\$)	C (€)
Tanques pulmón	T-101	20,0	2,7	87.103	80.135
	T-102	21,5	2,7	88.184	81.129
Coste total tanques pulmón (€)					161.264

Bombas centrífugas

En este caso, y para la estimación del coste de las bombas centrífugas, se ha usado un método diferente al método algorítmico: el método de las correlaciones, [10]. Este método sigue una ecuación general que depende, básicamente, de dos parámetros: el caudal (capacidad) y la potencia. Es por esa razón, que el cálculo del coste se divide en dos partes, el coste del motor de la bomba y el coste de la centrífuga.

Ejemplo de cálculo para la bomba centrífuga P-401:

- o Motor:

$$C_{kW} = a + b \cdot S^n = -950 + 1770 \cdot (2,15 \text{ kW})^{0,6} = 1857 \$_{2007}$$

Dónde:

$S = \text{potencia de la bomba (kW)}$

- o Centrífuga:

$$C_{L/s} = a + b \cdot S^n = 6900 + 206 \cdot (5,20 \text{ L/s})^{0,6} = 9770 \$_{2007}$$

Dónde:

$S = \text{capacidad de la bomba (L/s)}$

$$C = (C_{kW} + C_{L/s}) \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2007}} = (1857 \$ + 9770 \$) \cdot \frac{603,1}{509,7} = 13.758 \$_{2019}$$

Cabe especificar que los costes calculados son sin tener en cuenta el coste de instalación, que se indicará en el método VIAN. Por tanto, y siguiendo las ecuaciones anteriores para el cálculo del coste de las bombas centrífugas, la siguiente **Tabla 7.13** resume los costes de todas las bombas de la planta:

Tabla 7.13. Estimación de los costes de las bombas centrífugas de la planta.

Tipo	Equipo	S (kW)	S (L/s)	C (\$)	C (€)
Bombas centrífugas	P-300	282	150,8	139.267	128.126
	P-301	277	165,5	144.783	133.200
	P-302	5,9	30	14.991	13.791
	P-400	19	165	95.440	87.805
	P-401	2,5	5,2	13.758	12.658
	P-500	539	103,7	148.546	136.662
	P-501	178	101,3	103.132	94.882
Coste total bombas centrífugas (€)					593.333
Coste total bombas centrífugas dobladas (€)					1.186.666

Caldera de vapor

En este caso, y para la estimación del coste de la caldera de vapor, se ha usado un método diferente al método algorítmico: el método de las correlaciones, [10]. Este método sigue una ecuación general que depende, básicamente, de un parámetro: el caudal de vapor en kg/h.

Ejemplo de cálculo para la caldera de vapor CV-01:

$$C = a + b \cdot S^n = 110000 + 4,5 \cdot (11345)^{0,9} = 130.213 \text{ } \$_{2007}$$

$$C = 130.213 \text{ } \$_{2007} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2007}} = 130.213 \text{ } \$_{2007} \cdot \frac{603,1}{509,7} = 154.073 \text{ } \$_{2019}$$

Dónde:

$S = \text{caudal de vapor de agua (kg/h)}$

Tabla 7.14. Estimación de los costes de las calderas de vapor de la planta.

Tipo	Equipo	S (kg/h)	C (\$)	C (€)
Caldera de vapor	CV-01	11.435	154.073	141.748
	CV-02	54.500	227.666	208.452
	CV-03	54.500	227.666	208.452
	CV-04	57.456	232.413	213.820
Coste total calderas de vapor (€)				772.472

Turbina de vapor de agua

En este caso, y para la estimación del coste de la turbina, se ha usado un método diferente al método algorítmico: el método de las correlaciones, [10]. Este método sigue una ecuación general que depende, básicamente, de un parámetro: la potencia en kW.

Ejemplo de cálculo para la turbina de vapor TV-01:

$$C = a + b \cdot S^n = -12000 + 1630 \cdot (10717)^{0,75} = 1.704.907 \text{ } \$_{2007}$$

$$C = 1.704.907 \text{ } \$_{2007} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2007}} = 1.704.907 \text{ } \$_{2007} \cdot \frac{603,1}{509,7} = 2.017.323 \text{ } \$_{2019}$$

Dónde:

$S = \text{potencia de la turbina de vapor (kW)}$

Tabla 7.15. Estimación de los costes de la turbina de vapor de la planta.

Tipo	Equipo	S (kW)	C (\$)	C (€)
Turbina de vapor	TV-01	10.717	2.017.323	1.855.937
Coste total de las turbinas de vapor (€)				1.855.937

Torres de refrigeración

En este caso, y para la estimación del coste de las torres de refrigeración, se ha usado un método diferente al método algorítmico: el método de las correlaciones, [10]. Este método sigue una ecuación general que depende, básicamente, de un parámetro: el caudal de agua de refrigeración en L/s.

Ejemplo de cálculo para la torre de refrigeración TR-01:

$$C = a + b \cdot S^n = 150000 + 1300 \cdot (139,7)^{0,9} = 260.814 \$_{2007}$$

$$C = 260.814 \$_{2007} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2007}} = 260.814 \$_{2007} \cdot \frac{603,1}{509,7} = 308.606 \$_{2019}$$

Dónde:

$S =$ caudal de agua de refrigeración (L/s)

Tabla 7.16. Estimación de los costes de las torres de refrigeración de la planta.

Tipo	Equipo	S (L/s)	C (\$)	C (€)
Torres refrigeración	TR-01	139,7	308.606	283.918
Coste total torres de refrigeración (€)				283.918

Chiller

En este caso, y para la estimación del coste del Chiller, se ha usado un método diferente al método algorítmico: el método de las correlaciones, [10]. Este método sigue una ecuación general que depende, básicamente, de un parámetro: la potencia de refrigeración en Mbtu/h.

Ejemplo de cálculo para el Chiller CH-01:

$$C = 178 \cdot F \cdot Q^{0,65} = 178 \cdot 2,65 \cdot 2,28^{0,65} = 806 \$_{2007}$$

$$C = 806 \$_{2007} \cdot \frac{CE_{2019}}{CE_{2007}} = 806 \$_{2007} \cdot \frac{603,1}{509,7} = 955 \$_{2019}$$

Dónde:

$Q =$ potencia de refrigeración (MBtu/h)

Tabla 7.17. Estimación de los costes del Chiller de la planta.

Tipo	Equipo	Q (MBtu/h)	C (\$)	C (€)
Chiller	CH-01	2,28	806	955
Coste total Chiller (€)				955

7.3.1.3 Método VIAN

En este apartado y, una vez conocido el coste de los equipos y del terreno, se procede a realizar un cálculo aproximado de la inversión inicial o capital inmovilizado, siguiendo el método VIAN y escogiendo los factores que se observan en la **Tabla 7.18** siguiente.

Tabla 7.18. Estimación por el método VIAN para el cálculo del capital inmovilizado.

Partida	Factor	Coste (€)
I1 Maquinaria y equipos	X	19.287.011
I2 Instalación	0,40·X	7.714.805
I3 Tuberías y válvulas	0,60·X	11.572.207
I4 Instrumentación	0,10·X	1.928.701
I5 Aislamiento	0,05·X	964.351
I6 Instalación eléctrica	0,15·X	2.893.052
I7 Terrenos	---	5.323.500
Edificaciones mixtas	0,15·X	2.893.052
I8 Instalaciones auxiliares	0,40·X	7.714.805
Y Factor primario	---	60.291.482
I9 Proyecto y dirección de obra	0,25·Y	15.072.870
Z Capital secundario	---	75.364.352
I10 Contratista	0,06·Z	4.521.861
I11 Gastos no previstos	0,15·Z	11.304.653
Capital inmovilizado (€)		91.190.866

7.3.2 Capital circulante

El capital circulante es aquel capital cuya inversión se recupera el último año y que, a la vez, es necesario para la compra de materias primas, servicios y, en resumen, todo aquel capital que se ha invertido para llevar a cabo el proceso.

Para realizar una estimación se ha decidido usar un método en concreto: método global. El método global es aquel que estima que el capital circulante será entre un 10 y un 30% del capital inmovilizado calculado anteriormente, escogiendo en este caso un 15%.

$$C_C = 0,15 \cdot C_I = 0,15 \cdot 91.190.866 = 13.678.630 \text{ €}$$

Dónde:

C_C = capital circulante (€)

C_I = capital inmovilizado (€)

7.3.3 Puesta en marcha

En este apartado se pretende realizar el cálculo del coste que corresponde a la puesta en marcha de la planta que, en todo caso, siempre será muy inferior al del capital inmovilizado y, por tanto, se suele menospreciar. No obstante, para este caso y debido a la complejidad de la planta diseñada, se ha considerado un 5% del capital inmovilizado como costes de puesta en marcha.

$$C_{pm} = 0,05 \cdot C_I = 0,05 \cdot 91.190.866\text{€} = 4.559.543\text{€}$$

Dónde:

C_{pm} = coste de puesta en marcha (€)

C_I = coste inmovilizado (€)

Por tanto, y una vez estimados los costes de los capitales inmovilizado y circulante, junto al coste de puesta en marcha, se ha podido estimar el valor de la inversión inicial total:

Tabla 7.19. Estimación de la inversión inicial con el capital inmovilizado, circulante y coste de puesta en marcha.

Concepto	Inversión (€)
Capital inmovilizado	91.190.866
Capital circulante	13.678.630
Coste de puesta en marcha	4.559.543
Inversión inicial total	109.429.039

7.4 Costes

7.4.1 Costes de fabricación

Los costes de fabricación (M) son todos aquellos costes que irán destinados a materias primas, patentes, mano de obra directa e indirecta, servicios, alquileres, laboratorio, envasado expedición, impuestos y seguros.

Materias primas (M1)

En este apartado se han calculado los costes anuales de materia primas del proceso (oxígeno, etileno y nitrógeno) según los precios encontrados en el estudio de mercado:

Tabla 7.20. Estimación del coste de materias primas del proceso.

Materia prima	Cantidad anual (tn/año)	Coste unitario (€/tn)	Coste anual (€/año)
Oxígeno	86.016	120	10.321.920
Etileno	89.395	930	83.137.350
Coste total M1 (€)			93.459.270

Mano de obra directa (M2)

Los costes por mano de obra directa (M2) están referidos a los costes por los empleados de la planta. No solo técnicos u operarios, sino todos los trabajadores con indiferencia de su rango. Si se considera una jornada laboral de 8 horas diarias durante 320 días al año, sale una jornada laboral de 2560 h. Así mismo, teniendo en cuenta que la planta funciona 24 h al día de lunes a domingo, se ha decidido tener 5 turnos diferentes.

Antes de proceder a la estimación de los costes por mano de obra es necesario que se realice un organigrama de la planta, donde se dividen los empleados según su puesto de trabajo.

Tabla 7.21. Organigrama de la empresa ETHOXID según los diferentes departamentos de la planta.

Puesto en ETHOXID				
Dirección General: Gerente	Director departamento ingeniería	Director departamento producción	Encargados: Almacенamientos reactivos Almacенamiento productos A-200 A-300 A-400 A-500	Operarios A-000/100 Operarios A-600 Operarios A-200 Operarios A-300 Operarios A-400 Operarios A-500
		Director departamento control (forma parte del de producción)	Encargado de control de producción	Personal de control de producción
		Director departamento marketing	Encargado de marketing	Comerciales
		Director departamento mantenimiento	Encargado de mantenimiento	Técnicos de mantenimiento
		Director departamento calidad	Encargado de calidad de producción	Personal de calidad
		Director departamento I+D+I	Encargado de laboratorios	Personal/Técnicos de laboratorio
		Director departamento recursos humanos	Encargado de recursos humanos	Personal de recursos humanos
		Director departamento finanzas	Encargados: Administración Contabilidad	Personal administrativo Contables

Una vez distribuido el organigrama de la empresa, se procede al cálculo de los costes de la empresa en sueldos brutos a los trabajadores. Dichos sueldos cumplen con el convenio colectivo de la industria química según la resolución del 26 de junio de 2018, [1] y que, además, van dirigidos a los trabajadores que realizan funciones a turno en procesos continuos. Así mismo, los costes no solo serán del sueldo bruto, sino que la empresa también deberá pagar alrededor de un 25% de los sueldos a seguridad social.

Tabla 7.22. Estimación del coste de mano de obra directa según los sueldos brutos de los trabajadores.

Puesto	N.º trabajadores	Sueldo bruto anual (€/año)	SS (25%)	Coste anual (€/año)
Gerente	1	112.000,00	28.000,00	140.000,00
Directores departamentos	9	46.219,61	11.554,9	57.774,51
Encargados departamentos	14	37.238,71	9.309,68	46.548,39
Operarios almacenamiento	20	22.323,98	5.580,99	27.904,97
Operarios producción	30	24.408,82	6.102,2	30.511,02
Personal control producción	10	31.304,9	7.826,22	39.131,12
Comerciales	1	27.295,57	6.823,89	34.119,46
Técnicos de mantenimiento	5	31.304,9	7.826,22	39.131,12
Personal de calidad	4	31.304,9	7.826,22	39.131,12
Técnicos de laboratorio	8	31.304,9	7.826,22	39.131,12
Personal de limpieza	10	19.276,1	4.819,02	24.095,12
Personal recursos humanos	2	27.295,57	6.823,89	34.119,46
Contables	2	27.295,57	6.823,89	34.119,46
Administración	4	27.295,57	6.823,89	34.119,46
Costes totales M2 (€)				4.289.626

Patentes (M3)

Las patentes en general suelen tener unos 15-20 años de validez. Una vez se ha vencido el plazo, no es estrictamente necesario realizar un pago al dueño de dicha patente. Así mismo, según el registro el valor de las patentes disminuye al paso del tiempo.

En nuestro caso, aparte de que únicamente se cogieron ideas de diferentes patentes, todas ellas tenían más de 15 años de vida por lo que el coste referido a patentes es nulo.

Mano de obra indirecta (M4)

Estos costes corresponden a los costes de mano de obra que no intervienen directamente en el proceso productivo. Se puede llegar a estimar entre un 15 y un 45% del coste de la mano de obra directa, siendo este caso del 20%.

Tabla 7.23. Estimación de los costes por mano de obra indirecta.

Coste mano de obra directa (M2) (€)	4.289.626
Coste mano de obra indirecta (M4) (€)	643.444

Servicios (M5)

Estos costes hacen referencia a las necesidades/requerimientos de los servicios para el correcto funcionamiento de la producción de la planta:

Tabla 7.24. Estimación de los costes por servicios de planta: electricidad, gas natural, agua de red y nitrógeno.

Servicios	Consumo	Coste	Coste anual (€/año)
Electricidad (kWh/año)	150.405.440	0,07 €/kWh	9.776.353
Gas natural (kWh/año)	124.499.643	0,04 €/kWh	4.979.986
Agua de red (m ³ /año)	824.064	0,81 €/m ³	670.788
Nitrógeno (tn/año)	2.581,5	125 €/tn	322.688
Dowtherm A (kg/año)	8.584	5,40 €/kg	46.353
Coste total M5 (€)			14.796.168

En el caso del consumo de nitrógeno, a la cantidad necesaria para el proceso se le ha sumado un 50% para operaciones de inertización. Así mismo, la cantidad de agua de red consumida solo se ha tenido en cuenta la que se usará para el proceso de absorción, debido a que la que se usará para refrigerar equipos ya está incluida dentro del coste de puesta en marcha. El precio de la electricidad se ha estimado mediante un promedio, [11].

Suministros (M6)

Estos costes van dirigidos a aquellas adquisiciones regulares necesarias para la producción (lubricantes, herramientas, equipamiento laboral de protección). De manera genérica se puede estimar entre un 0,2 y un 1,5% del valor de coste inmovilizado, siendo en nuestro caso un 0,75%, añadiendo un plus de 1M € anual por la adquisición del catalizador necesario, así como la monoetanolamina almacenada que se usa en la zona de tratamiento de CO₂.

Tabla 7.25. Estimación de los costes por suministro a la planta.

Coste inmovilizado (€)	91.160.866
Coste suministros (M6) (€)	1.455.954

Reparaciones y mantenimiento (M7)

Estos costes se estiman en función del tipo de producción que se realice en la planta química. Para el caso en especial de la industria química en general suele ser entre un 5 y un 7% del resultado del método VIAN sin tener en cuenta los terrenos, siendo en nuestro caso un 5%:

Tabla 7.26. Estimación de los costes por posibles reparaciones y mantenimiento.

Resultado método VIAN (€)	85.867.366
Coste reparaciones y mantenimiento (M7) (€)	4.293.368

Laboratorio (M8)

Estos costes van dirigidos a los gastos derivados de los laboratorios. Se suele estimar entre un 5 y un 35% del coste de la mano de obra directa M2, siendo en nuestro caso un 10%:

Tabla 7.27. Estimación de los costes referidos a tareas de laboratorio e investigación.

Coste mano de obra directa (M2) (€)	4.289.626
Coste laboratorios (M8) (€)	428.962

Expedición (M9)

Estos costes van dirigidos a los costes por transporte. Aunque son costes muy difíciles de generalizar ya que dependen del medio de transporte, distancia, volumen y la inestabilidad de los precios de las compañías de transporte marítimo, se ha podido estimar como el 10% de los costes de mano de obra directo M2:

Tabla 7.28. Estimación de los costes referidos a transporte/expedición.

Coste mano de obra directa (M2) (€)	4.289.626
Coste expedición (M9) (€)	428.962

Dirección y servicio técnico (M10)

Estos costes van dirigidos a la dirección del proceso productivo. Muy variables según el sector y los condicionantes. Se suele estimar en función de la mano de obra y, por tanto, el grado de automatización, es decir, entre un 10 y un 40% de los costes de mano de obra directa M2:

Tabla 7.29. Estimación de los costes por dirección y servicio técnico.

Coste mano de obra directa (M2) (€)	4.289.626
Coste dirección y servicio técnico (M10) (€)	428.962

Alquileres (M11)

Estos costes van dirigidos, en este caso, al único alquiler de la planta: alquiler de los recipientes de almacenamiento de nitrógeno de 53 m³ a la empresa Air Liquide:

Tabla 7.30. Estimación de los costes por alquileres de la planta.

Cuota tanques nitrógeno (€/año)	3.500
Coste alquiler (€)	14.000

Impuestos (M12)

Estos costes no van dirigidos ni a los impuestos sobre beneficios ni al IVA, sino que se refieren a los impuestos locales (IBI, tasa de residuos, pavimento...) u otros como impuestos medioambientales. Se suelen estimar entre un 0,5 y un 1% del valor del coste inmovilizado, siendo en nuestro caso un 0,5%:

Tabla 7.31. Estimación de los costes por impuestos no dirigidos a beneficios ni al IVA.

Coste inmovilizado (€)	91.190.866
Coste por impuestos (M12) (€)	455.954

Seguros (M13)

Estos costes van dirigidos a los seguros de incendios, responsabilidad civil, robos.... Se suelen estimar como un 1% del coste inmovilizado, pero, debido a ser un tipo de planta de alto riesgo, este será elevado hasta un 1,5%:

Tabla 7.32. Estimación de los costes para seguros de incendios, robos o responsabilidad civil.

Coste inmovilizado (€)	91.190.866
Coste de seguros (M13) (€)	911.908

7.4.2 Distribución costes de fabricación

En este apartado se procede a comprobar la contribución de cada coste de fabricación (M) respecto al coste total de éste. Esta será una manera que más adelante se usará para comprobar qué variables son más críticas e interesa estudiarla para la rentabilidad de la planta.

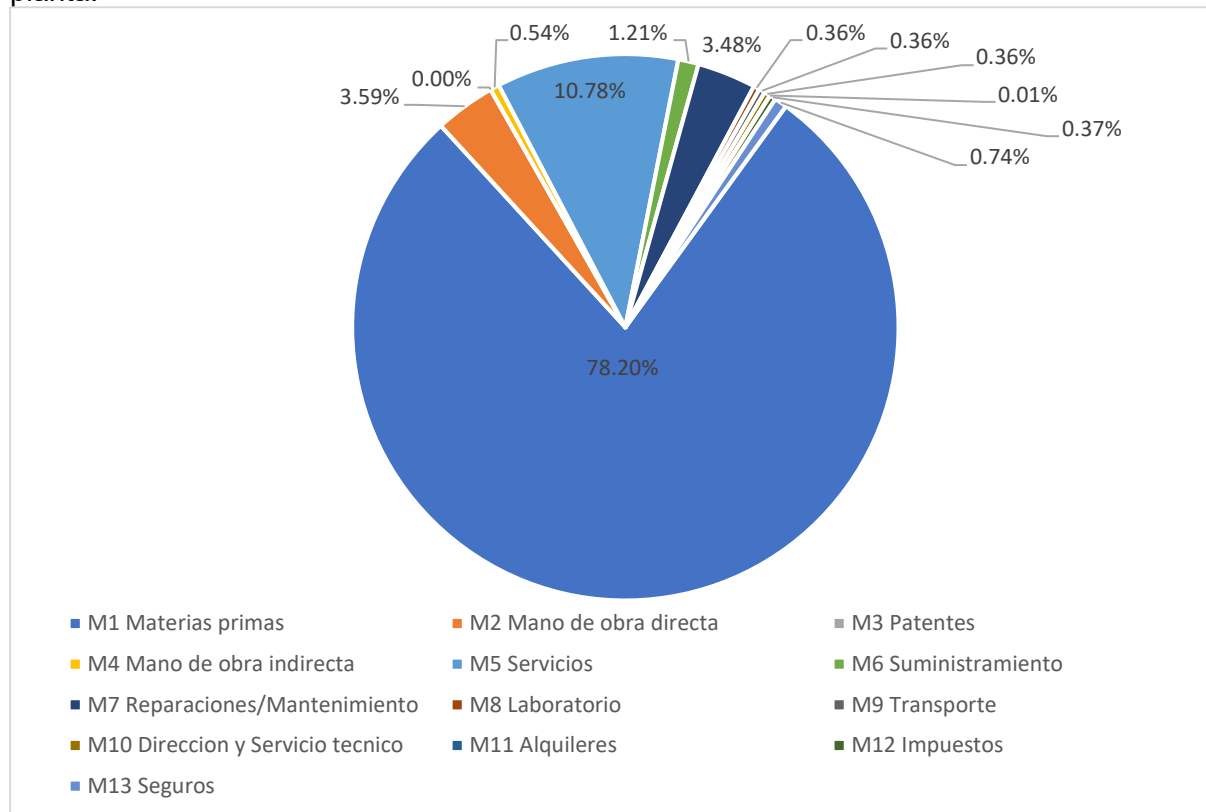


Figura 7.4. Representación gráfica de las contribuciones de los costes de fabricación respecto al coste total.

Tal y como se observa en la **Figura 7.4**, un 78% de los costes de fabricación son, únicamente, los costes de materias primas (M1). Esto nos indica que la variación de dichos costes puede conllevar una variación considerable en el estudio de la rentabilidad de la planta que se realizará posteriormente. Así mismo, son los que puede variar más debido a que los precios de mercado de las materias primas irán fluctuando a lo largo del tiempo, según la oferta y la demanda.

La siguiente contribución más importante es la que forman los costes de servicios (M5), aproximadamente un 11% de los costes totales. Esto es así ya que esta planta es de gran complejidad y necesita hacer uso de diferentes servicios entre los que se encuentran el consumo de electricidad, gas natural como combustible o agua de red para el proceso y mantenimiento de esta. Por último, las otras contribuciones son prácticamente despreciables en comparación con las dos comentadas anteriormente, por lo que no valdría la pena realizar ningún estudio en función de la variabilidad de éstas.

7.4.3 Costes generales

Los costes generales (G) son todos aquellos costes que se generan por la administración, costes comerciales e investigación y servicios técnicos:

Costes de administración

Costes que corresponden al personal administrativo, contables y más tareas organizativas como la gerencia. Se ha estimado como un 5% de los costes de fabricación calculados en el apartado anterior, sabiendo que pueden estimarse entre un 3 y un 6%.

Tabla 7.33. Estimación de los costes generales para la administración.

Costes de fabricación (€)	121.599.581
Costes administración (€)	4.863.983

Costes comerciales

Costes que corresponden a los costes por ventas, es decir, comisiones, por ejemplo. Se ha estimado en un 10% de los costes de fabricación, sabiendo que pueden estimarse entre un 5 y un 20%.

Tabla 7.34. Estimación de los costes generales referidos a sectores comerciales.

Costes de fabricación (€)	121.599.581
Costes comerciales (€)	9.727.966

Costes por investigación y servicios técnicos

Costes que son destinados al sector I+D+R y al servicio pre y postventa. Se han estimado en un 1,5% de los costes de fabricación.

Tabla 7.35. Estimación de los costes generales referidos a investigación desarrollo e innovación.

Costes de fabricación (€)	121.599.581
Costes Investigación y servicios técnicos (€)	1.519.995

Por tanto, el valor del coste general total será la suma de los costes de administración, comerciales y por investigación y servicios técnicos.

Tabla 7.36. Estimación de los costes generales totales según los de administración, comerciales y I+D+I.

Costes de administración (€)	4.863.983
Costes comerciales (€)	9.727.966
Costes por investigación y servicios técnicos (€)	1.519.995
Costes generales totales (€)	16.111.944

7.4.4 Costes totales

Una vez se ha calculado los diferentes costes (costes generales (G) y de fabricación (M)) se pueden calcular los costes totales mediante la suma entre ellos:

Tabla 7.37. Estimación de los costes totales anuales que incluyen costes de fabricación y generales.

Costes de Fabricación (€)	121.599.581
Costes Generales (€)	16.111.944
Costes totales (€)	137.711.526

7.5 Ingresos por ventas

Los ingresos anuales de la planta ETHOXID se estiman en función de la producción anual del producto principal de la planta, en este caso el óxido de etileno al 99,96% de pureza, y de su precio de mercado detallado en el estudio de mercado, [4] y [7]. No obstante, también se ha decidido vender el dióxido de carbono al 99,66% de pureza tratado en el área A-500, según el precio de mercado encontrado, [12].

Tabla 7.38. Estimación de los ingresos anuales por venta de productos de la planta.

Producto	Producción anual (t/año)	Precio unitario (€/t)	Ventas (€/año)
Óxido de etileno	123.264	1.300	160.243.200
Dióxido de carbono	38.078	30	1.142.340
Ventas totales (€)			161.385.540

7.6 Rentabilidad del proyecto

7.6.1 Amortización

En primer lugar, antes de poder estudiar la rentabilidad de la planta, es necesario definir las amortizaciones anuales. Una amortización consiste en cuantificar cual sería el coste económico para una empresa proveniente de la depreciación anual de su capital inmovilizado. Dicho coste es gradual y se va consumiendo mientras dure el ejercicio fiscal.

En este caso, se ha supuesto un tiempo útil de la planta de 15 años y la estimación de las amortizaciones se ha realizado mediante el método lineal que, según se ha podido comprobar, es el método usado en España a nivel legislativo. El método lineal o de cuotas constantes es una forma de depreciar los activos mediante cuotas de amortización anuales iguales.

La amortización anual por método lineal sigue la siguiente fórmula:

$$A_j = \frac{(I - VR)}{t}$$

Dónde:

A_j = *coste amortizaciones anuales* (€)

I = *coste del capital inmovilizado* (€)

VR = *coste del valor residual* (€)

t = *vida útil de la planta, en este caso, 15 años*

A continuación, se procederá a la estimación de los Flujos Netos de Caja (NCF) para determinar en qué condiciones será rentable la planta teniendo en cuenta, por ejemplo, que la inversión inicial, que incluye capital circulante y capital inmovilizado, se dividirá en dos años antes de que la planta entre en funcionamiento, tal y como se observa en las siguientes tablas:

7.6.2 Flujos Netos de Caja

Tabla 7.39. Estudio de la rentabilidad del proyecto mediante el método de cálculo de los flujos netos de caja NCF.

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Capital Inmovilizado	-54.714.520	-36.476.346							
Capital Circulante		-13.678.630							
Valor Residual									
Amortizaciones			-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009
Costes anuales			-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526
Ingresos anuales			161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540
Beneficio bruto			17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005
Base Imponible			17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005
Impuestos sobre beneficios (25%)				-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251
NCF	-54.714.520	-50.154.976	23.674.014	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763

	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Capital Inmovilizado									
Capital Circulante									13.678.630
Valor Residual									2.735.726
Amortizaciones	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	-5.897.009	
Costes anuales	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	-137.711.526	
Ingresos anuales	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	161.385.540	
Beneficio bruto	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	
Base Imponible	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	17.777.005	
Impuestos sobre beneficios (25%)	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251	-4.444.251
NCF	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763	19.229.763	11.970.105

Tal y como se observa en la **Tabla 7.39** anterior, se han estimado los valores de los Flujos Netos de Caja (NCF) para determinar si la planta es rentable, teniendo en cuenta un impuesto sobre beneficios del 25%. El cálculo de los NCF se ha realizado de la siguiente manera:

$$NFC_j = CI + CC + VR + C_j + I_j + (i \cdot B_I)$$

Dónde:

CI = capital inmovilizado (€)

CC = capital circulante (€)

C_j = costes totales anuales (€)

I_j = ingresos totales anuales (€)

B_I = base imponible (€)

i = interés sobre beneficios, estimado en 25% en España

7.6.3 Valor Actual Neto y Tasa de Rentabilidad Interna

Una vez se han estimado los diferentes flujos netos de caja (NCF), se puede realizar la actualización de estos calculando el Valor Actual Neto (VAN) y, a la vez, calculando la Tasa de Rentabilidad Interna (TRI) para así también poder analizar qué flexibilidad dispone la planta respecto a los cambios de interés de la Tesorería.

La tasa de rentabilidad interna (TRI) nos da una idea de a partir de qué interés la planta deja de ser rentable, es decir, aquel interés que hace que el VAN sea igual a 0. Así mismo, siempre que los valores del VAN sean positivos ($VAN > 0$) se podrá concluir que la planta es rentable. Todo lo contrario, pasaría si el VAN es negativo ($VAN < 0$), entonces la planta para ese interés no sería rentable. Por tanto, para su cálculo se ha usado la siguiente fórmula:

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

Dónde:

VAN = Valor Actual Neto (€)

NCF_n = Flujos Netos de Caja en el año n (€)

i = tipo de interés (%)

Para poder analizar con precisión la rentabilidad de la planta, se han representado la evolución de los VAN según el tipo de interés usado en la siguiente figura:

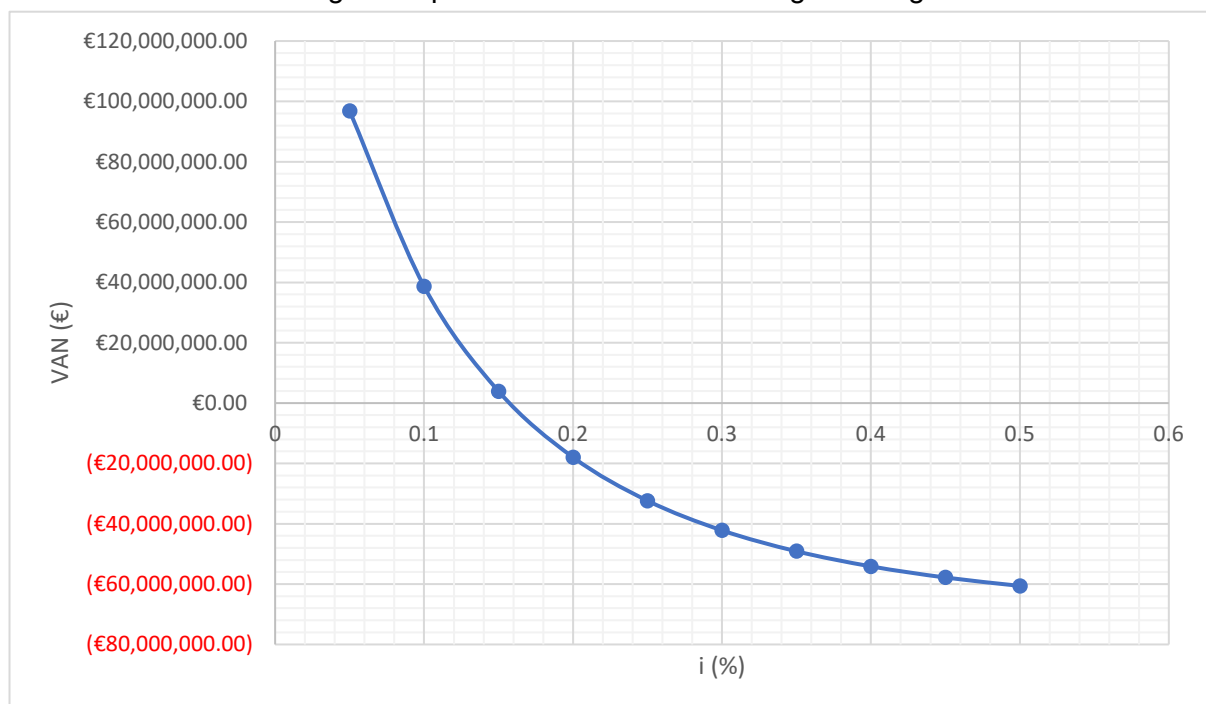


Figura 7.5. Representación gráfica de la evolución del VAN de la planta para diferentes tipos de intereses i .

Tal y como se observa en la **Figura 7.5**, el TRI calculado y, a partir del cual la planta ya no será rentable, ha sido del 15,8%. Es decir, todos los valores por debajo de este interés (TIR) supondrán un valor de VAN positivo, por lo que, cuanto mayor sea el valor del TIR, mayor rentabilidad de la planta se dispondrá. Así mismo, el tipo de interés suele variar entre el 3% y el 9% siempre y cuando dicha empresa sea reconocida en el mercado, [2], caso concreto de nuestra planta, por lo que, tal y como se ha calculado, con cualquier de esos intereses que los bancos nos proporcionaran, nuestro proyecto sería considerado rentable.

7.6.4 Recuperación de la Inversión inicial

En este apartado y, una vez calculados los NCF y comprobado la rentabilidad de la planta, se pretende calcular el periodo de tiempo operativo que se tardará en recuperar toda la inversión inicial realizada en los años 0 y 1.

Para eso se ha realizado el cálculo de, primeramente, los flujos netos de caja acumulados para después poder calcular el último periodo con flujo acumulado negativo, en este caso 5, el valor absoluto del último flujo de caja acumulado negativo y, por último, el valor del flujo de caja del siguiente periodo.

Una vez realizados todos los cálculos correspondientes, se ha obtenido que el periodo de recuperación de la inversión inicial de la planta será de 6,2 años, por lo que, en aproximadamente poco más de 6 de los 15 años operativos de la planta, ya se habrá recuperado toda la inversión inicial.

7.6.5 Estudio de sensibilidad

Para finalizar con la evaluación económica de la planta, se procede a realizar un estudio de sensibilidad para poder analizar cambios en la rentabilidad de la planta en función de variaciones, por ejemplo, en precios de mercado de materias primas y/o productos debido a que dichos precios no son fijos y varían en el tiempo. Es por esto por lo que estas variables, como precios de servicios, se pueden considerar variables críticas del proyecto y es por eso por lo que se ha estudiado como variaría la rentabilidad de la planta en función de variaciones en los precios como a continuación se demostrará.

7.6.5.1 Estudio según precio de materias primas

En primer lugar, se realizará el estudio según los precios de las materias primas de la planta: oxígeno y etileno, debido a que tal y como se muestra en el **Apartado 7.4.2** el coste de materias primas es el más significativo de los costes de fabricación (78%). Para poder comprobar qué variación será más crítica, se ha realizado dos estudios: aumento del precio del oxígeno en un 20% y del etileno del 10%. La siguiente tabla se indica los resultados obtenidos:

Tabla 7.40. Análisis de sensibilidad según el precio de las materias primas del oxígeno y el etileno.

Estudio	TRI (%)	VAN (5%)	RR (%)	PRI (años)
Sin variación	15,8%	96.866.098 €	16,9%	6,2
Precio oxígeno +20%	13,9%	79.257.567 €	14,7%	6,8
Precio etileno +10%	8,1%	25.952.614 €	7,9%	9,4

Tal y como se observa en la **Tabla 7.40**, se ha podido comprobar como una variación del 10% del precio del etileno será mucho más crítico para la rentabilidad de la planta que la variación del 20% en el precio del oxígeno, disminuyendo el TIR de un 15,8% aun 8,1%. De hecho, se ha comprobado como para a partir de un aumento del 25% del precio del etileno, la planta ya no sería rentable.

Así mismo, se ha añadido en la **Tabla 7.40** el concepto de ratio de retorno y el periodo de recuperación de la inversión inicial, siendo esta mayor a la vez que disminuye el TRI, por lo que el caso en el que se tardaría más en recuperar la inversión sería también el del aumento del 10% del precio del etileno, poco más de 9 años aproximadamente. Dicha diferencia puede venir dada por la diferencia de precios de las dos materias primas (120€ la tonelada de oxígeno y 930 € la tonelada de etileno) y por la diferencia de cantidades a usar anuales de las dos materias primeras (86.000 toneladas/año de oxígeno y unas 90.000 toneladas/año de etileno).

En la siguiente figura se puede observar representado la evolución del VAN para el caso sin variaciones, el caso del aumento del 20% del oxígeno y el del 10% del etileno.

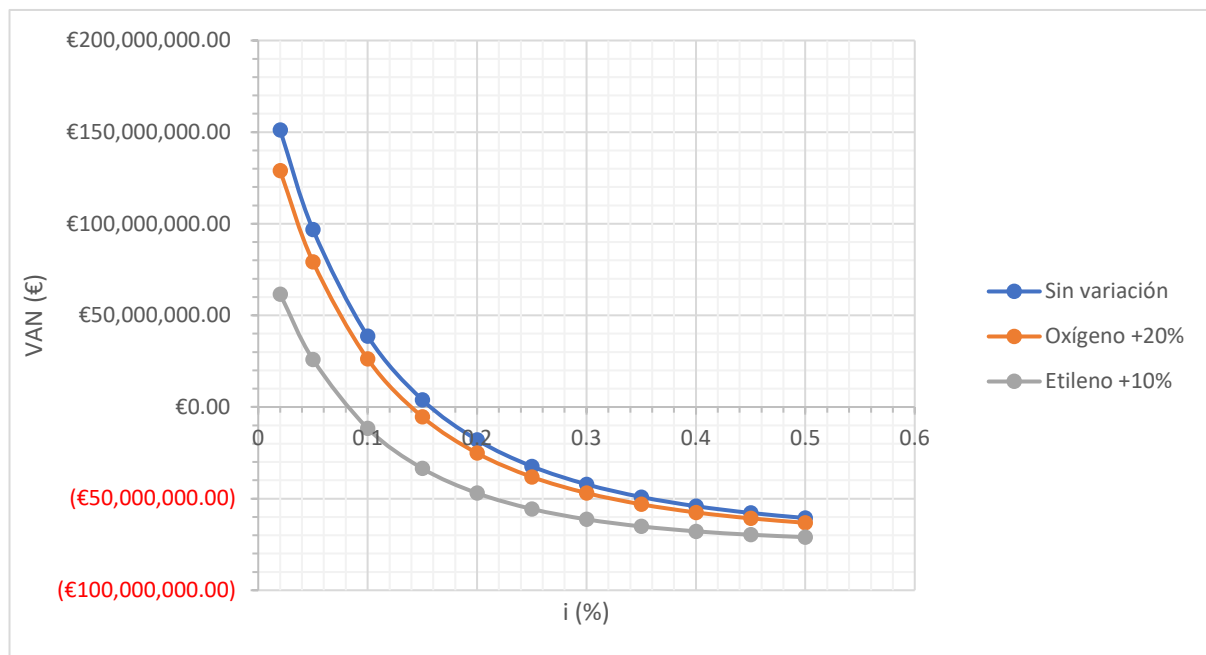


Figura 7.6. Representación gráfica de la evolución del VAN de la planta para diferentes tipos de intereses y para aumento del 20% del oxígeno y 10% del etileno.

7.6.5.2 Estudio según precio de productos

En segundo lugar, se realizará el estudio según el precio del producto principal de la planta: el óxido de etileno. Para poder comprobar cómo afectan estas variaciones, se ha realizado dos estudios: disminución del precio del óxido de etileno en un 5 y 10%. La siguiente tabla se indica los resultados obtenidos:

Tabla 7.41. Análisis de sensibilidad según el precio del producto óxido de etileno.

Estudio	TRI (%)	VAN (2%)	RR (%)	PRI (años)
Sin variación	15,8%	151.177.632 €	16,9%	6,2
Precio OE -5%	9,3%	74.984.079 €	9,3%	8,7
Precio OE -15%	3,9%	17.810.004 €	3,6%	12,9

Tal y como se observa en la **Tabla 7.41**, se ha podido comprobar como una variación del 15% del precio del óxido de etileno será mucho más crítico para la rentabilidad de la planta que la variación del 5%, disminuyendo el TIR de un 15,8% a un 3,9%. Así mismo, se ha podido observar como a partir de una disminución del 15% del precio del óxido de etileno, la planta ya no sería rentable.

Así mismo, se ha añadido en la tabla el concepto de ratio de retorno y el periodo de recuperación de la inversión inicial, siendo esta mayor a la vez que disminuye el TRI, por lo que el caso en el que se tardaría más en recuperar la inversión sería también el de la disminución del 15% del precio del óxido de etileno, unos 12 años.

En la siguiente **Figura 7.7** se puede observar representado la evolución del VAN para el caso sin variaciones, el caso de la disminución del 5% y del 15% del óxido de etileno.

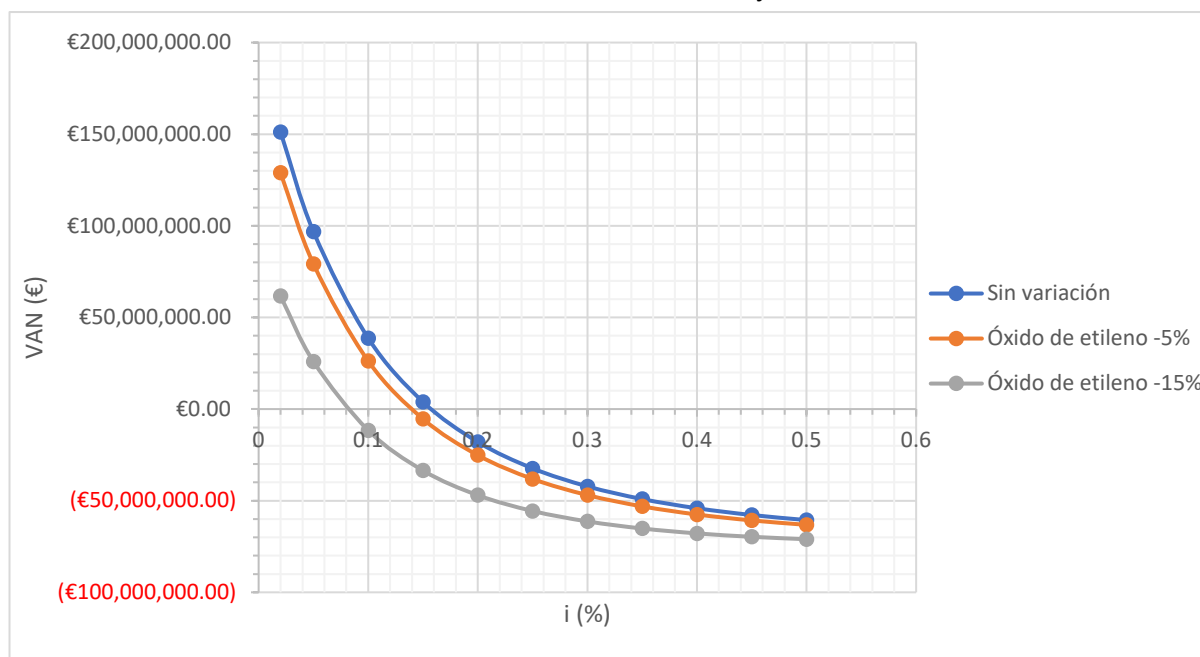


Figura 7.7. Representación gráfica de la evolución del VAN de la planta para diferentes intereses y para disminución del precio del etileno del 5 y 15%.

7.6.6 Comparación con diferentes vidas útiles de proyecto

En este último apartado se procede a comparar la evolución del VAN para diferentes duradas de vida de producción. En la siguiente figura se pueden observar las evoluciones del VAN para los proyectos con vida de 10,15 y 20 años.

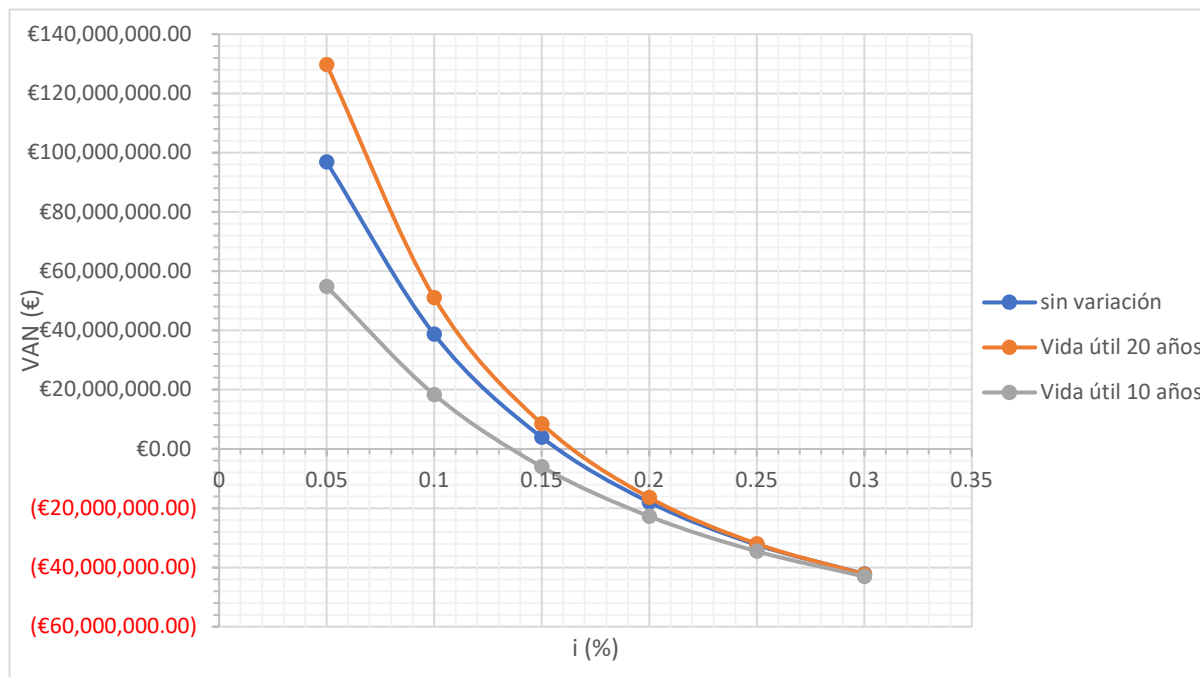


Figura 7.8. Representación gráfica de la evolución del VAN de la planta para diferentes intereses y para diferentes vidas útiles de 10, 15 y 20 años.

Tal y como se puede observar en la **Figura 7.8**, a medida que aumentan los años de vida útil del proyecto, mayor es su rentabilidad, debido a que el TRI aumenta. No obstante, se puede observar una diferencia más grande en el valor del TRI entre disminuir la vida útil a 10 años (TRI del 13,6%) que en aumentarla a 20 (TRI del 16,4%) respecto a la vida útil actual de 15 años (TRI del 15,8%). No obstante, se ha podido concluir que tanto si el proyecto durara 5 años más como 5 años menos, éste seguiría siendo rentable a todos los niveles.

7.7 Bibliografía

- [1] Agencia Estatal BOE, “**Resolución de 26 de julio de 2018, de la Dirección General de Trabajo, por la que se registra y publica el Convenio colectivo general de la industria química.**”, Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las cortes e igualdad, Gobierno de España, última consulta: 16/05/2020; https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOEA-2018-11368
- [2] Banco de España, página web, Tabla tipos de interés legal, Portal Cliente Bancario, última consulta: 16/05/2020; [https://clientebancario.bde.es/pcb/es/menuhorizontal/productosservici/relacionados/tiposinteres/guiatextual/tiposinteresefe/Tabla tipos de interes legal.html](https://clientebancario.bde.es/pcb/es/menuhorizontal/productosservici/relacionados/tiposinteres/guiatextual/tiposinteresefe/Tabla%20tipos%20de%20interes%20legal.html)
- [3] Business Korea: Korea’s premium Business News Portal, Ethylene Prices Plummet, última consulta: 05/05/2020; <http://www.businesskorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=32779>
- [4] Echemi, Ethylene Oxide Analysis, última consulta: 05/05/2020; http://www.echemi.com/productsInformation/pid_Rock13784-ethylene-oxide-eo.html
- [5] H.P. Loh, L. Jennifer, W. White. Charles. U.S Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. **Process Equipment Cost Estimation Final Report.** Pittsburgh, PA 15236-0940 and Morgantown, WV 26505.
- [6] Habitaclia, **Terrenos y solares industriales en Tarragona**, última consulta: 13/05/2020; https://www.habitaclia.com/terrenos_y_solares-en-tarragones.htm?st=3
- [7] ICIS: Independent Commodity Intelligence Services, “Chemical profile: Europe ethylene oxide”, última consulta: 05/05/2020;
- [8] IHS Markit, Producción del óxido de etileno, “**Chemical Economics Handbook**”, última consulta: 03/05/2020; <https://ihsmarkit.com/products/ethylene-oxide-chemical-economics-handbook.html>
- [9] S.M. Walas. Chemical Process Equipment: Selection and Design. Woburn, MA: Butterworth, 1998. <https://www.icis.com/explore/resources/news/2013/04/13/9658385/chemical-profile-europe-ethylene-oxide/>
- [10] Sinnott, R., Towler, G., “Chemical Engineering Design.”, 2ª edición, Ed. Elsevier, Estados Unidos, 2013 o Diseño en Ingeniería Química. Traducción de la quinta edición original. Sinnott, R. Towler, G. Ed. Reverté (Barcelona, 2012).

[11] Tarifasgasluz, “**Tarifas diarias del precio de la luz y su comparativa**”, última consulta: 16/05/2020; <https://tarifasgasluz.com/faq/precio-kwh#kwh-mercado-regulado>

[12] SENDECO₂, Precios del CO₂ entre los años 2008-2020;
<https://www.sendeco2.com/es/precios-co2>