



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Diseño de un parque eólico de 50 MW en Catí, Alto
Maestrazgo, Castellón.
Anejo II: Análisis económico

Presentado por

Salazar Chueca, María

Para la obtención del

Grado en Ingeniería Civil

Curso: 2019/2020

Fecha: julio del 2020

Tutor: Pérez Martín, Miguel Ángel

ÍNDICE ANEJO II

ÍNDICE DE TABLAS ANEJO II	1
ÍNDICE DE FIGURAS ANEJO II	2
ÍNDICE DE FÓMRULAS ANEJO II	2
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. HIPÓTESIS DE PARTIDA	1
3. FLUJO DE CAJA	4
4. VALOR ACTUAL NETO (VAN).....	8
5. TASA INTERNA DE RETORNOS (TIR).....	11
6. PAYBACK	12
7. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PARQUE EÓLICO.....	16
7.1. DATOS DE PARTIDA.....	16
7.2. INDICADORES ECONÓMICOS	17

ÍNDICE DE TABLAS ANEJO II

Tabla 1- Supuestos de partida, costes de inversión	2
Tabla 2-Supuestos de partida	2
Tabla 3- Valores correspondientes a los supuestos de partida E-115	2
Tabla 4- Valores correspondientes a los supuestos de partida E-138 EP3 ..	3
Tabla 5- Valores correspondientes a los supuestos de partida E-126 EP3) .	3
Tabla 6- Valores correspondientes a los supuestos de partida SG 5.0132 ..	3
Tabla 7- Valores flujo de Caja E-115	4
Tabla 8- Valores flujo de caja -138 EP3.....	5
Tabla 9- Valores flujo de caja E-126 EP3.....	6
Tabla 10- Valores flujo de caja S.G. 5.0-132.....	7
Tabla 11-Payback E-115	13
Tabla 12- Payback E-138 EP3	13
Tabla 13- Payback E-126 EP3	14

Tabla 14- Payback SG 5.0-132	15
Tabla 15- Datos de partida	16
Tabla 16- Coeficiente de pérdidas	17
Tabla 17- Flujo de caja del parque eólico	18
Tabla 18- Payback parque eólico	20

ÍNDICE DE FIGURAS ANEJO II

Figura 1- Flujo de caja E-115.....	5
Figura 3- Flujo de caja E-126 EP3.....	7
Figura 4- Flujo de caja SG 5.0-132	8
Figura 5- Evolución VAN E-115	9
Figura 6 - Evolución VAN E-138 EP3.....	9
Figura 7- Evolución VAN E-126 EP3	10
Figura 8 Evolución VAN SG 5.0-132	10
Figura 8- Flujo de caja parque eólico	18
Figura 9- Evolución VAN del parque eólico.....	19

ÍNDICE DE FÓRMULAS ANEJO II

Fórmula 1- Valor Actual Neto	8
Fórmula 3- Tasa Interna de Retornos	11
Fórmula 4- Payback.....	12

1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo tiene como objetivo exponer con detalle el análisis económico realizado por un lado, para cada uno de los modelos de aerogenerador, de forma que sirva para justificar los resultados mencionados en la memoria del proyecto y, por otro lado, para el estudio del parque eólico una vez escogido el modelo de aerogenerador.

Los modelos de aerogenerador estudiados son: Enercon E-115 de 3 MW, Enercon 138 EP3 de 3,5 MW, Enercon E-126 EP3 de 4 MW y Siemens Gamesa S.G. 5.0-132.

En el análisis se han calculado el flujo de caja, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno y el Payback para cada modelo de aerogenerador.

2. HIPÓTESIS DE PARTIDA

En este apartado, se han determinado los siguientes supuestos de partida según las referencias dadas por IDEA en *La evolución tecnológica y la prospectiva de costes de las energías renovables 2011-2020* y las obtenidas según el artículo publicado en *El periódico de la energía* que tiene por título “*El precio medio de las turbinas eólicas baja del millón de dólares por megavatio*”.

De esta forma, se obtiene un valor para los costes de inversión de 1,15 millones de € el MW como se puede observar en la siguiente tabla donde aparecen también desglosados los elementos que lo componen .

COSTES DE INVERSIÓN

Aerogenerador	0.83	M€/MW
Instalación eléctrica	0.05	M€/MW
Subestación y conexión eléctrica	0.17	M€/MW
Obra civil e ingeniería	0.08	M€/MW
Promoción	0.02	M€/MW
Total	1.15	M€/MW

Tabla 1- Supuestos de partida, costes de inversión

Por otro lado, los ingresos corresponden al precio medio de la energía eléctrica en España entre los datos para los años 2017, 2018 y 2019. Este valor es de 52,7 €/MWh y se ha obtenido de la página web de OMIE

En cuanto a los costes de explotación, se ha considerado conforme al *Anuario Eólico 2019 de AEE* que suponen el 5% de los ingresos anuales.

Es decir, los supuestos de partida son:

Inversión	1,15 M€/MW
Ingresos	52,7 €/MWh
Costes de explotación	5% de los ingresos anuales

Tabla 2-Supuestos de partida

En concreto, para cada uno de los modelos se obtiene:

- **ENERCON E-115 (3 MW)**

ENERCON E-115	
Potencia nominal	3 MW
Producción	15,074 MWh
Costes de inversión	3.45 M€
Costes de explotación	40,098 €
Ingresos	801,953 €

Tabla 3- Valores correspondientes a los supuestos de partida E-115

- **ENERCON E-138 EP3 (3,5 MW)**

ENERCON E-138 EP3

Potencia nominal	3.5 MW
Producción	17940 MW/h
Costes de inversión	4.0 M€
Costes de explotación	47721 €
Ingresos	954,411 €

Tabla 4- Valores correspondientes a los supuestos de partida E-138 EP3

- **ENERCON E-126 EP3 (4 MW)**

ENERCON E-126 EP3

Potencia nominal	4.0 MW
Producción	18691 MW/h
Costes de inversión	4.6 M€
Costes de explotación	49717.81366 €
Ingresos	994,356 €

Tabla 5- Valores correspondientes a los supuestos de partida E-126 EP3)

- **SIEMENS GAMESA SG 5.0-132 (5 MW)**

SG-5.0

Potencia nominal	5 MW
Producción	19,798 MW/h
Costes de inversión	5.75 M€
Costes de explotación	52,663 €
Ingresos	1,053,255 €

Tabla 6- Valores correspondientes a los supuestos de partida SG 5.0132

3. FLUJO DE CAJA

El flujo de caja es la acumulación neta de activos líquidos en un periodo determinado. Aporta información sobre los ingresos y gastos permitiendo determinar la solvencia y liquidez del negocio. Es un estado financiero dinámico y acumulativo.

A continuación, se muestran los flujos de caja de manera individualizada para cada modelo de aerogenerador.

- **ENERCON E-115 (3 MW)**

AÑOS	Inversión	Costes de explotación	Ingresos	Acumulado
0	-3,450,000			-3,450,000
1	0	-138,000	794,416	-2,793,584
2	0	-138,000	794,416	-2,137,168
3	0	-138,000	794,416	-1,480,751
4	0	-138,000	794,416	-824,335
5	0	-138,000	794,416	-167,919
6	0	-138,000	794,416	488,497
7	0	-138,000	794,416	1,144,914
8	0	-138,000	794,416	1,801,330
9	0	-138,000	794,416	2,457,746
10	0	-138,000	794,416	3,114,162
11	0	-138,000	794,416	3,770,578
12	0	-138,000	794,416	4,426,995
13	0	-138,000	794,416	5,083,411
14	0	-138,000	794,416	5,739,827
15	0	-138,000	794,416	6,396,243
16	0	-138,000	794,416	7,052,660
17	0	-138,000	794,416	7,709,076
18	0	-138,000	794,416	8,365,492
19	0	-138,000	794,416	9,021,908
20	0	-138,000	794,416	9,678,325
21	0	-138,000	794,416	10,334,741
22	0	-138,000	794,416	10,991,157
23	0	-138,000	794,416	11,647,573
24	0	-138,000	794,416	12,303,989
25	0	-138,000	794,416	12,960,406

Tabla 7- Valores flujo de Caja E-115

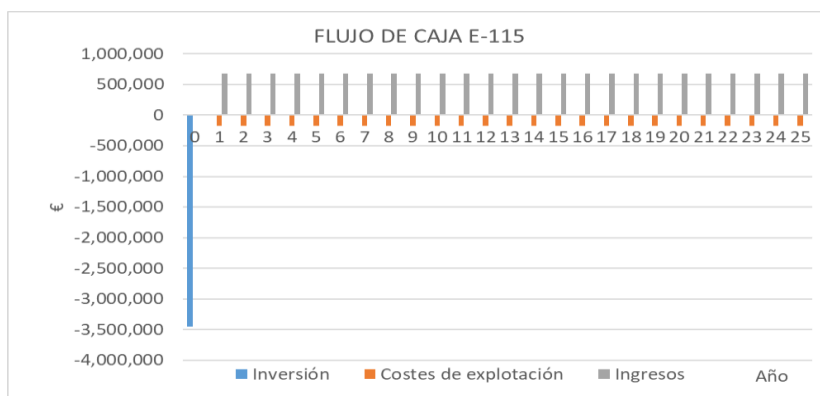


Figura 1- Flujo de caja E-115

- **ENERCON E-138 EP3 (3,5 MW)**

AÑOS	Inversión	Costes de explotación	Ingresos	Acumulado
0	-4,025,000			-4,025,000
1	0	-161,000	945,441	-3,240,559
2	0	-161,000	945,441	-2,456,118
3	0	-161,000	945,441	-1,671,677
4	0	-161,000	945,441	-887,236
5	0	-161,000	945,441	-102,796
6	0	-161,000	945,441	681,645
7	0	-161,000	945,441	1,466,086
8	0	-161,000	945,441	2,250,527
9	0	-161,000	945,441	3,034,968
10	0	-161,000	945,441	3,819,409
11	0	-161,000	945,441	4,603,850
12	0	-161,000	945,441	5,388,291
13	0	-161,000	945,441	6,172,731
14	0	-161,000	945,441	6,957,172
15	0	-161,000	945,441	7,741,613
16	0	-161,000	945,441	8,526,054
17	0	-161,000	945,441	9,310,495
18	0	-161,000	945,441	10,094,936
19	0	-161,000	945,441	10,879,377
20	0	-161,000	945,441	11,663,818
21	0	-161,000	945,441	12,448,258
22	0	-161,000	945,441	13,232,699
23	0	-161,000	945,441	14,017,140
24	0	-161,000	945,441	14,801,581
25	0	-161,000	945,441	15,586,022

Tabla 8- Valores flujo de caja -138 EP3

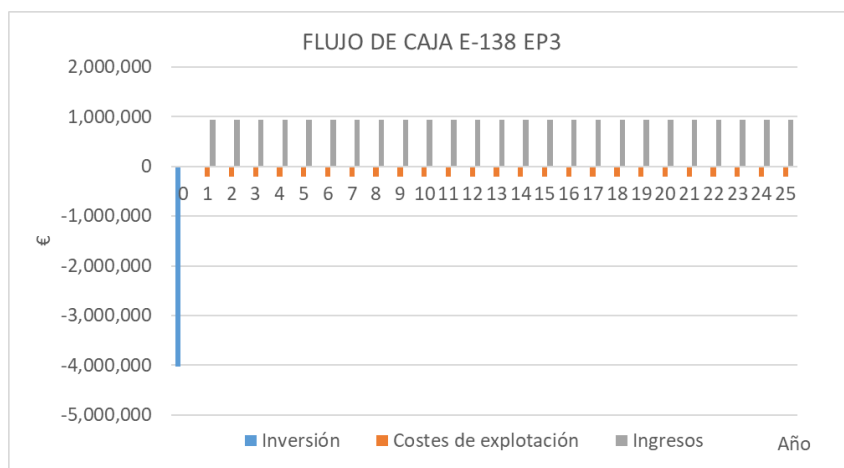


Figura 2- Flujo de caja E-138 EP3

- **ENERCON E-126 EP3 (4 MW)**

AÑOS	Inversión	Costes de explotación	Ingresos	Acumulado
0	-4,600,000			-4,600,000
1	0	-184,000	985,011	-3,798,989
2	0	-184,000	985,011	-2,997,978
3	0	-184,000	985,011	-2,196,968
4	0	-184,000	985,011	-1,395,957
5	0	-184,000	985,011	-594,946
6	0	-184,000	985,011	206,065
7	0	-184,000	985,011	1,007,076
8	0	-184,000	985,011	1,808,087
9	0	-184,000	985,011	2,609,097
10	0	-184,000	985,011	3,410,108
11	0	-184,000	985,011	4,211,119
12	0	-184,000	985,011	5,012,130
13	0	-184,000	985,011	5,813,141
14	0	-184,000	985,011	6,614,151
15	0	-184,000	985,011	7,415,162
16	0	-184,000	985,011	8,216,173
17	0	-184,000	985,011	9,017,184
18	0	-184,000	985,011	9,818,195
19	0	-184,000	985,011	10,619,206
20	0	-184,000	985,011	11,420,216
21	0	-184,000	985,011	12,221,227
22	0	-184,000	985,011	13,022,238
23	0	-184,000	985,011	13,823,249
24	0	-184,000	985,011	14,624,260
25	0	-184,000	985,011	15,425,270

Tabla 9- Valores flujo de caja E-126 EP3

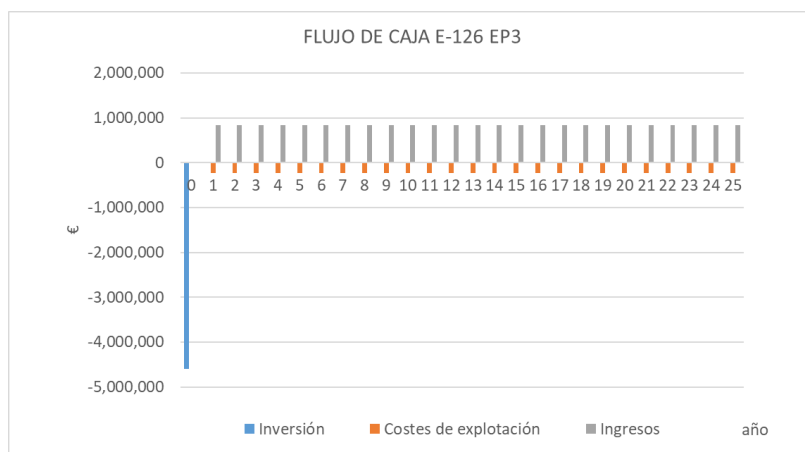


Figura 2-Flujo de caja E-126 EP3

- **SIEMENS GAMESA SG 5.0-132 (5 MW)**

AÑOS	Inversión	Costes de explotación	Ingresos	Acumulado
0	-5,750,000			-5,750,000
1	0	-230,000	1,043,356	-4,936,644
2	0	-230,000	1,043,356	-4,123,289
3	0	-230,000	1,043,356	-3,309,933
4	0	-230,000	1,043,356	-2,496,578
5	0	-230,000	1,043,356	-1,683,222
6	0	-230,000	1,043,356	-869,867
7	0	-230,000	1,043,356	-56,511
8	0	-230,000	1,043,356	756,844
9	0	-230,000	1,043,356	1,570,200
10	0	-230,000	1,043,356	2,383,555
11	0	-230,000	1,043,356	3,196,911
12	0	-230,000	1,043,356	4,010,267
13	0	-230,000	1,043,356	4,823,622
14	0	-230,000	1,043,356	5,636,978
15	0	-230,000	1,043,356	6,450,333
16	0	-230,000	1,043,356	7,263,689
17	0	-230,000	1,043,356	8,077,044
18	0	-230,000	1,043,356	8,890,400
19	0	-230,000	1,043,356	9,703,755
20	0	-230,000	1,043,356	10,517,111
21	0	-230,000	1,043,356	11,330,467
22	0	-230,000	1,043,356	12,143,822
23	0	-230,000	1,043,356	12,957,178
24	0	-230,000	1,043,356	13,770,533
25	0	-230,000	1,043,356	14,583,889

Tabla 10- Valores flujo de caja S.G. 5.0-132

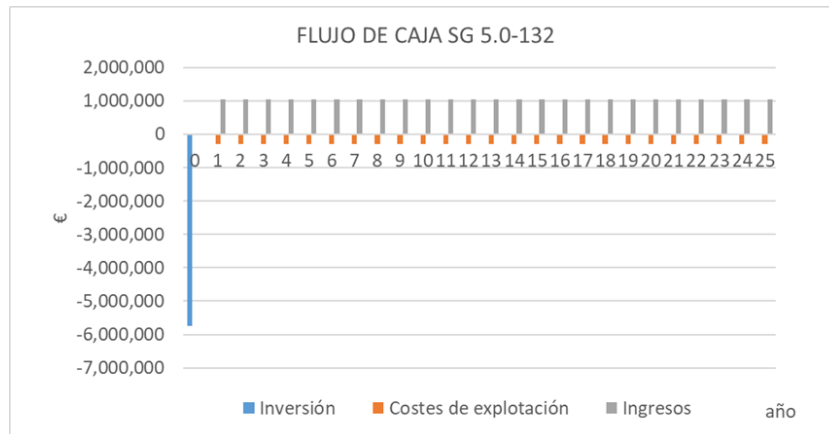


Figura 3- Flujo de caja SG 5.0-132

4. VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El Valor actual neto o VAN se define como aquel procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión.

El cálculo se realiza conforme la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+r)^t} - I$$

Fórmula 1- Valor Actual Neto

Donde,

- V_t son los flujos netos de caja correspondientes a cada periodo
- r es el tipo de interés (en este caso se ha tomado un valor del $r=4\%$) t el número de años (se ha calculado para una vida útil de $t=25$ años)
- I la inversión inicial realizada.

A continuación, se muestran las gráficas de evolución VAN para cada aerogenerador:

- **ENERCON E-115 (3 MW)**

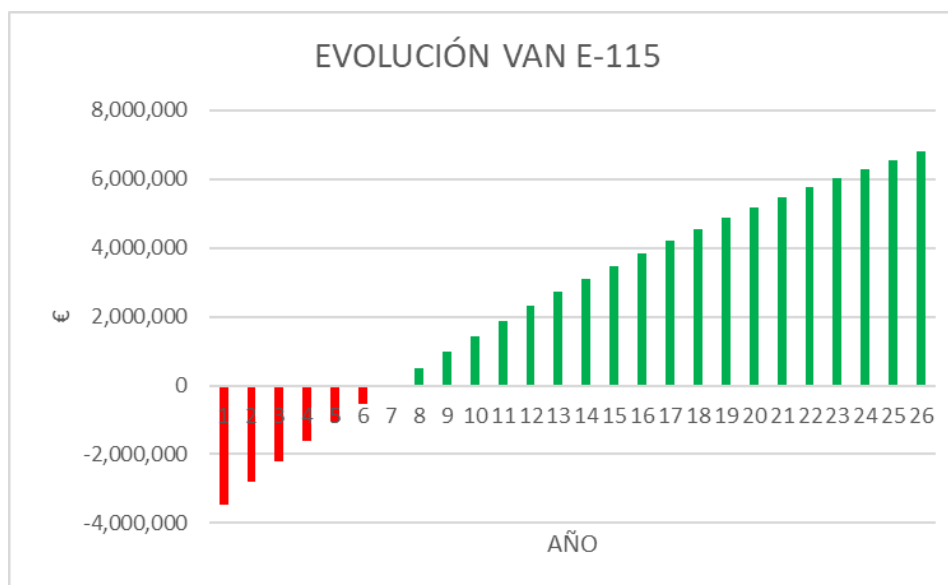


Figura 4- Evolución VAN E-115

▪ VAN= 6,804,587€

- **ENERCON E-138 EP3 (3,5 MW)**

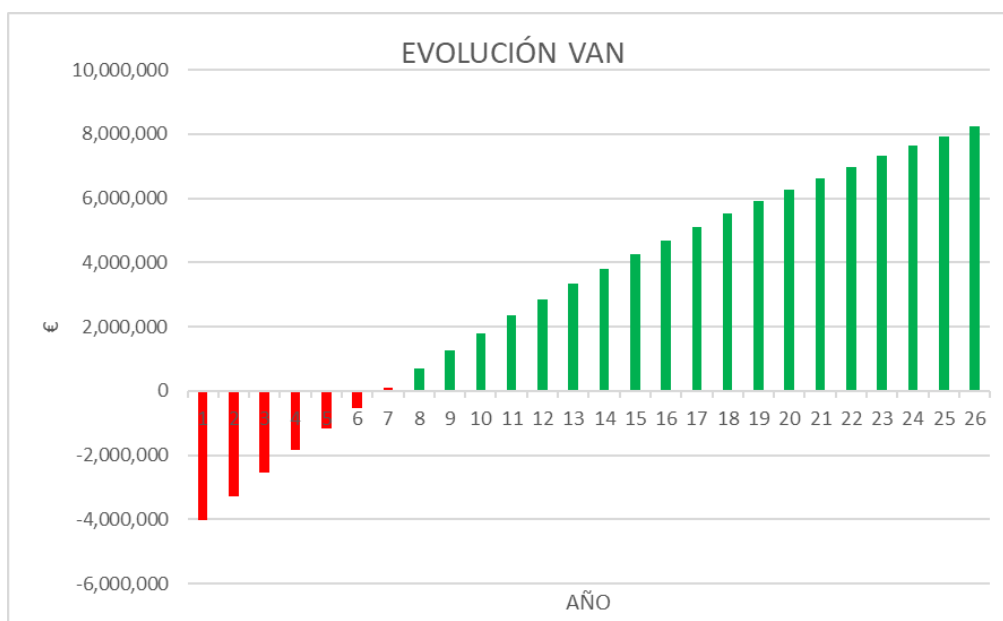


Figura 5 - Evolución VAN E-138 EP3

▪ VAN= 8,229,598 €

• **ENERCON E-126 EP3 (4 MW)**

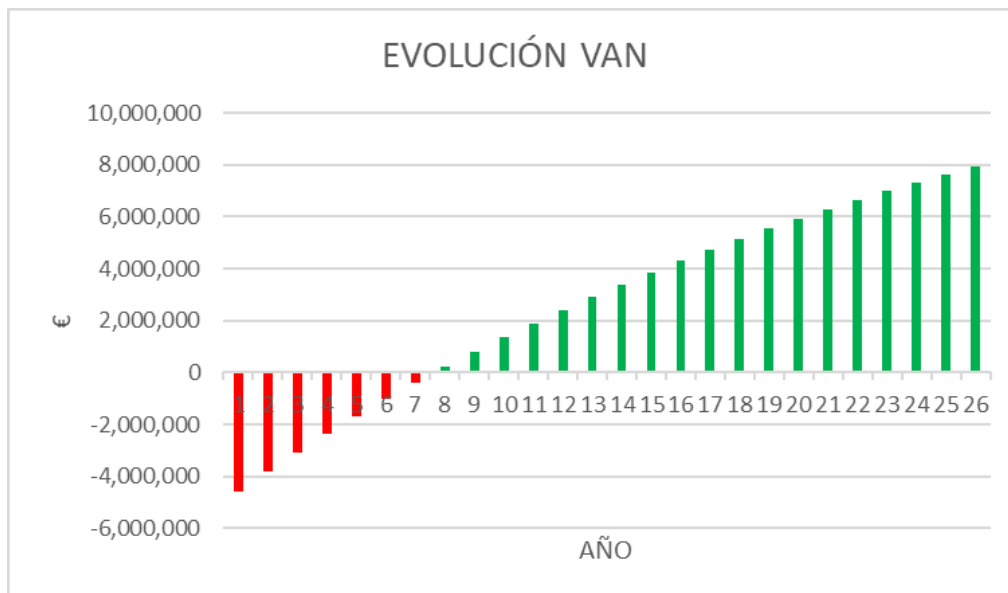


Figura 6- Evolución VAN E-126 EP3

▪ VAN= 7,91,4555€

• **SIEMENS GAMESA SG 5.0-132 (5 MW)**

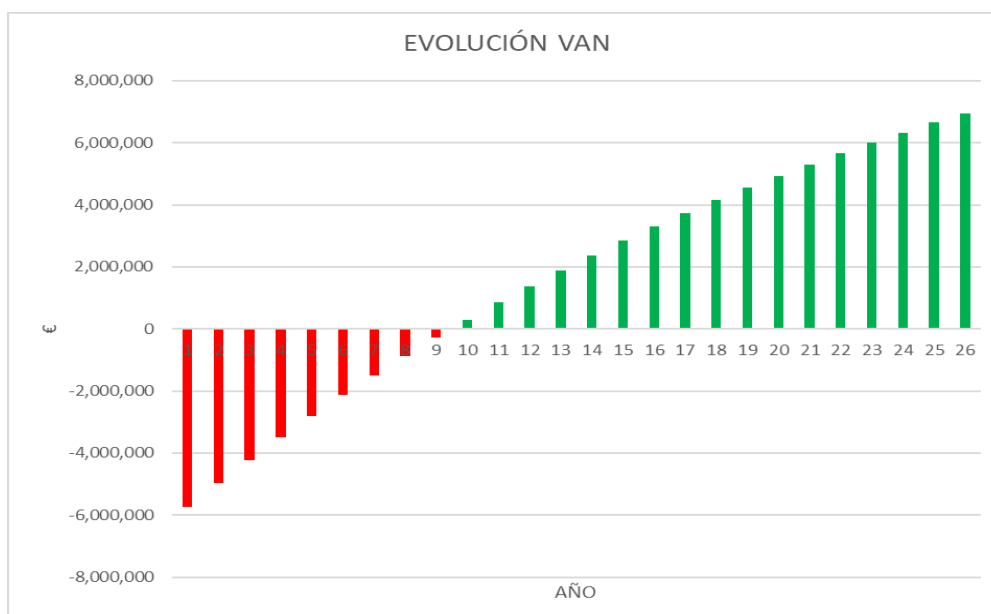


Figura 7 Evolución VAN SG 5.0-132

- VAN= 6,956,305€

5. TASA INTERNA DE RETORNOS (TIR)

La Tasa Interna de Retornos o TIR es la rentabilidad que ofrece una inversión. Se expresa como el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá dicha inversión para las cantidades que no se han retirado el proyecto.

Se calcula despejando el tipo de interés r que iguala el VAN a cero. Viene expresado mediante la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Fórmula 2- Tasa Interna de Retornos

Al igual que para el VAN, se han tomado para los cuatro modelos de aerogenerador un valor de $t=25$ años.

- **ENERCON E-115 (3 MW)**
 - TIR= 17,8%
- **ENERCON E-138 EP3 (3,5 MW)**
 - TIR= 18,3%
- **ENERCON E-126 EP3 (4 MW)**
 - TIR= 15,8%
- **SIEMENS GAMESA SG 5.0-132 (5 MW)**
 - TIR= 11,5%

6. PAYBACK

El Payback es un criterio estático de variación de inversiones que determina cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial a partir de los flujos de caja. Para determinarlo, en el caso de que los flujos de caja no sean iguales, se debe restar a la inversión inicial los flujos de caja de cada año. Si son iguales, se calcula a partir de la siguiente fórmula:

Donde I es la inversión inicial y V el valor del flujo de caja.

$$\text{PAYBACK} = I/V$$

Fórmula 3- Payback

- ENERCON E-115 (3 MW)**

PAYBACK	
AÑO	€
0	-3,450,000
1	-2,818,831
2	-2,211,937
3	-1,628,385
4	-1,067,278
5	-527,752
6	-8,976
7	489,846
8	969,483
9	1,430,672
10	1,874,124
11	2,300,519
12	2,710,515
13	3104741.28
14	3483805.29
15	3848289.92
16	4198755.91
17	4535742.44
18	4859767.95
19	5171330.94

20	5470910.74
21	5758968.23
22	6035946.6
23	6302271.94
24	6558354.01
25	6804586.77

Tabla 11-Payback E-115

Payback: 7 años

- ENERCON E-138 EP3 (3,5 MW)**

PAYBACK	
AÑO	€
0	-4,025,000
1	-3,270,730
2	-2,545,470
3	-1,848,105
4	-1,177,562
5	-532,809
6	87,146
7	683,257
8	1,256,440
9	1,807,578
10	2,337,518
11	2,847,076
12	3,337,036
13	3808150.38
14	4261145.44
15	4696717.61
16	5115537.01
17	5518247.97
18	5905470.05
19	6277798.97
20	6635807.55
21	6980046.56
22	7311045.62
23	7629313.94
24	7935341.17
25	8229598.13

Tabla 12- Payback E-138 EP3

Payback: 6 años

•ENERCON E-126 EP3 (4 MW)

PAYBACK	
AÑO	€
0	-4,600,000
1	-3,829,797
2	-3,089,218
3	-2,377,122
4	-1,692,415
5	-1,034,042
6	-400,992
7	207,711
8	793,001
9	1,355,781
10	1,896,915
11	2,417,237
12	2,917,546
13	3398611.97
14	3861175.76
15	4305948.63
16	4733614.85
17	5144832.38
18	5540233.84
19	5920427.56
20	6285998.44
21	6637508.91
22	6975499.74
23	7300490.92
24	7612982.44
25	7913455.06

Tabla 13- Payback E-126 EP3

Payback: 7 años

•SIEMENS GAMESA SG 5.0-132 (5 MW)

PAYBACK	
AÑO	€
0	-5,750,000
1	-4,967,927
2	-4,215,934
3	-3,492,864
4	-2,797,605
5	-2,129,086
6	-1,486,279
7	-868,196
8	-273,885
9	297,568
10	847,042
11	1,375,382
12	1,883,402
13	2371882.09
14	2841574.66
15	3293202.12
16	3727459.3
17	4145014.28
18	4546509.45
19	4932562.5
20	5303767.35
21	5660695.1
22	6003894.86
23	6333894.62
24	6651202.09
25	6956305.42

Tabla 14- Payback SG 5.0-132

Payback: 9 años

7. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PARQUE EÓLICO

En el apartado se va a llevar a cabo el análisis económico del conjunto del parque eólico. Este, está compuesto por 15 aerogeneradores del modelo E-138 EP3.

En el análisis se han calculado el flujo de caja, el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno y el Payback que servirán para determinar la rentabilidad del proyecto.

7.1. DATOS DE PARTIDA

Los valores de los datos de partida para el análisis económico del parque eólico son los siguientes

Inversión	60.375.000€
Ingresos	11.770.739€
Costes de explotación	2.415.000€

Tabla 15- Datos de partida

El valor de la inversión viene dado por el producto de 1,15 millones de € por MW considerado, por los 3,5 MW de potencia y por los 15 aerogeneradores.

Cabe destacar, que para el cálculo de los ingresos se ha multiplicado la producción total de los 15 aerogeneradores, por el valor del precio de la energía considerado de 52,7 €/MWh y por el coeficiente de pérdidas.

El coeficiente de pérdidas global se obtiene del producto de los coeficientes de pérdidas desglosados en la siguiente tabla:

PÉRDIDAS	COEFICIENTE
Por sombras entre alineaciones	0,9
Por sombras entre turbina	0,995
Por disponibilidad	0,98
Por transformación y transporte	0,97
Por mantenimiento subestación	0,999
Por corte de suministro	1
Por ajuste de curva de potencia	0,98
	0,83

Tabla 16-Coeficiente de pérdidas

En cuanto a los costes de explotación, representan el 5% de los ingresos anuales.

7.2. INDICADORES ECONÓMICOS

- **Flujo de caja**

El flujo de caja está calculado para una vida útil del parque de 25 años. En él se pueden observar la inversión inicial y los posteriores costes de explotación e ingreso anuales .

AÑOS	Inversión	Costes de explotación	Ingresos	Acumulado
0	-60,375,000			-60,375,000
1	0	-2,415,000	11,770,739	-51,019,261
2	0	-2,415,000	11,770,739	-41,663,522
3	0	-2,415,000	11,770,739	-32,307,783
4	0	-2,415,000	11,770,739	-22,952,044
5	0	-2,415,000	11,770,739	-13,596,305
6	0	-2,415,000	11,770,739	-4,240,566
7	0	-2,415,000	11,770,739	5,115,173
8	0	-2,415,000	11,770,739	14,470,912
9	0	-2,415,000	11,770,739	23,826,651
10	0	-2,415,000	11,770,739	33,182,389
11	0	-2,415,000	11,770,739	42,538,128
12	0	-2,415,000	11,770,739	51,893,867
13	0	-2,415,000	11,770,739	61,249,606
14	0	-2,415,000	11,770,739	70,605,345
15	0	-2,415,000	11,770,739	79,961,084
16	0	-2,415,000	11,770,739	89,316,823
17	0	-2,415,000	11,770,739	98,672,562
18	0	-2,415,000	11,770,739	108,028,301
19	0	-2,415,000	11,770,739	117,384,040
20	0	-2,415,000	11,770,739	126,739,779
21	0	-2,415,000	11,770,739	136,095,518
22	0	-2,415,000	11,770,739	145,451,257
23	0	-2,415,000	11,770,739	154,806,996
24	0	-2,415,000	11,770,739	164,162,735
25	0	-2,415,000	11,770,739	173,518,474

Tabla 17- Flujo de caja del parque eólico

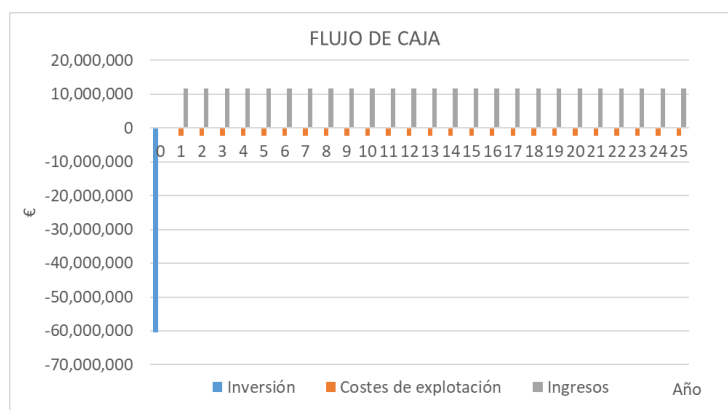


Figura 8- Flujo de caja parque eólico

- **Valor Actual Neto (VAN)**

En el caso del parque eólico, para una vida útil de 25 años, se obtiene un valor VAN de 85.781.102€ que demuestra la rentabilidad del proyecto a lo largo de los años de su utilización.

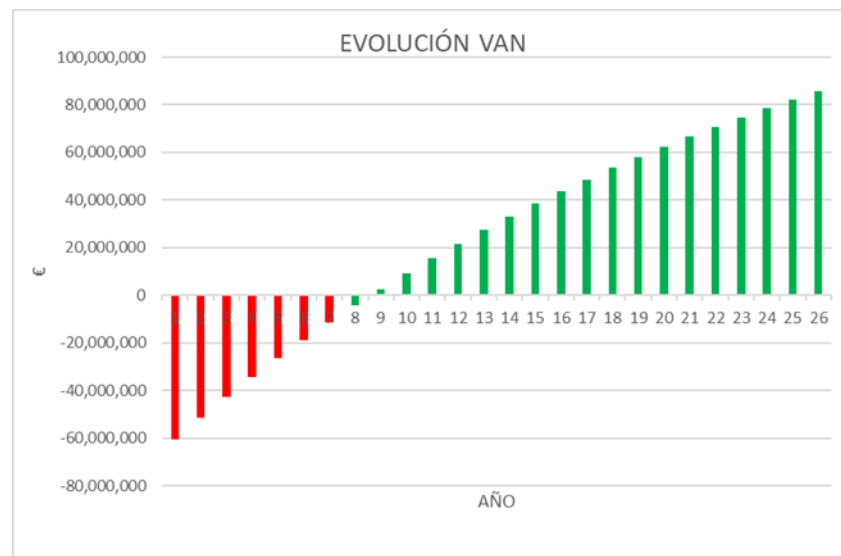


Figura 9- Evolución VAN del parque eólico

- **Tasa Interna de Retornos (TIR)**

Al igual que para el VAN, se han tomado para los cuatro modelos de aerogenerador un valor de $t=25$ años.

El valor TIR del parque eólico es de 13,3% por lo que la seguridad de obtener beneficios es casi absoluta.

- **PAYBACK**

Como se ve en la tabla, el parque eólico del que trata el trabajo posee un payback de 7 años. Es decir, a partir del octavo año desde su puesta en funcionamiento se empiezan a obtener beneficios.

Diseño de un parque eólico de 50 MW en Catí, Alto Maestrazgo, Castellón.



PAYBACK	
AÑO	€
0	-60,375,000
1	-51,379,097
2	-42,729,191
3	-34,411,973
4	-26,414,648
5	-18,724,912
6	-11,330,936
7	-4,221,343
8	2,614,803

Tabla 18- Payback parque eólico