

Recepción: 15 de marzo de 2015

Aceptación: 26 de mayo de 2015

Publicación: 04 de junio de 2015

DIMENSIONAMIENTO Y EVALUACIÓN ECONÓMICA DE PILAS DE CARBONATOS FUNDIDOS MEDIANTE CALCBIMCFC

DIMENSIONING AND ECONOMIC EVALUATION OF
MOLTEN CARBONATE FUEL CELLS WITH
CALCBIMCFC

Juan José Graña Magariños¹

1. Doctorando en Ingeniería del Medioambiente. Másteres Oficiales en Energías Renovables & SSTPRL. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Licenciado en Ciencias Ambientales. Arquitecto Técnico. Universidad Alfonso X el Sabio. Madrid. España. E-mail: jgranmag@myuax.com

RESUMEN

En este artículo se explica brevemente la operativa de funcionamiento del software desarrollado capaz de realizar el dimensionamiento y evaluación económica de una instalación de Pilas MCFC que emplee como combustible biogás.

El programa creado recibe en nombre de CALCBIMCFC. Este dimensiona el sistema de Pilas de Combustible MCFC necesarias para una instalación de producción de biogás como puede ser un vertedero controlado de RSU, EDAR, instalación agropecuaria, etc.

ABSTRACT

This article briefly explains the operation of software called CALCBIMCFC. This software makes dimensioning and economic evaluation of a facility MCFC Fuel Cells which uses biogas as fuel. These facilities could be a MSW landfill, wastewater treatment plant, agricultural installation, etc.

PALABRAS CLAVE

CALCBIMCFC; pila de combustible; carbonatos fundidos; MCFC; biogás.

KEY WORDS

CALCBIMCFC; fuel cell; molten carbonate; MCFC; biogas.

INTRODUCCIÓN

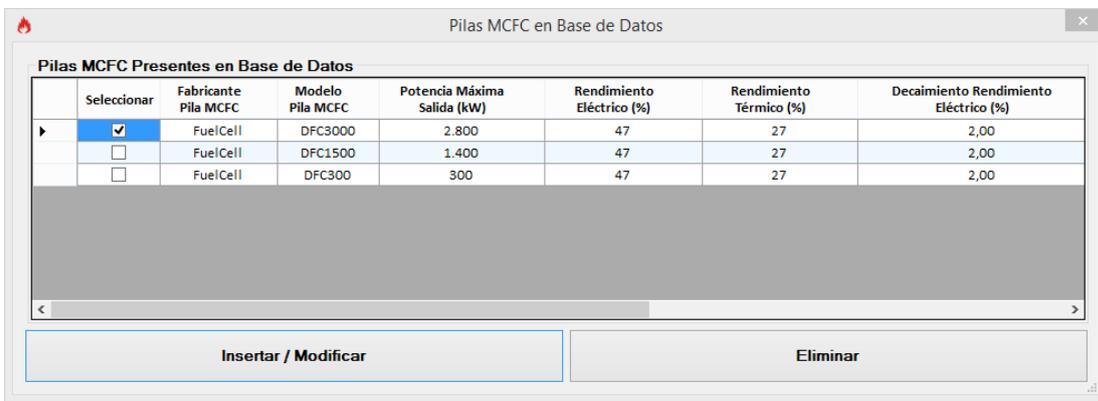
En la sociedad actual, con unas demandas energéticas crecientes día a día, se hace necesario alcanzar una mayor sostenibilidad de los recursos existentes. Las Pilas de Carbonatos Fundidos y el biogás pueden contribuir en esta dirección. Por este motivo, se ha decidido crear un software capaz de realizar el dimensionamiento y evaluación económica de una instalación de Pilas MCFC que emplee como combustible biogás.

El software, llamado CALCBIMCFC, parte de distintas variables de las que dependen este tipo de sistemas, y a partir de ellas determina los modelos y unidades necesarias de Pilas MCFC a instalar. Esto se realiza a través de un algoritmo de dimensionamiento creado para tal fin. Una vez obtenidos los resultados del algoritmo ya es posible calcular la producción de energía eléctrica y térmica así como sus costes de inversión y mantenimiento. Para que este sistema pueda emplear biogás como combustible es necesario someterlo a un proceso de desulfuración. Este software también dimensiona este proceso y calcula sus costes.

VARIABLES DE PARTIDA Y DIMENSIONAMIENTO

INTRODUCCIÓN DE PILAS MCFC Y PROCESOS DE DESULFURACIÓN AL MODELO

Antes de explicar el software desarrollado es necesario describir su Base de Datos. En esta se almacenan las distintas Pilas MCFC que se pueden tener en cuenta en el dimensionamiento de una instalación. Por defecto se encuentran añadidas las de la compañía FuelCell, en concreto los modelos DFC300, DFC1500 y DFC3000. En la figura siguiente se puede ver la BBDD de Pilas MCFC con estos tres modelos y alguna de sus características, que serán las que emplee el algoritmo de dimensionamiento para calcular una determinada instalación.



Seleccionar	Fabricante Pila MCFC	Modelo Pila MCFC	Potencia Máxima Salida (kW)	Rendimiento Eléctrico (%)	Rendimiento Térmico (%)	Decaimiento Rendimiento Eléctrico (%)
<input checked="" type="checkbox"/>	FuelCell	DFC3000	2.800	47	27	2,00
<input type="checkbox"/>	FuelCell	DFC1500	1.400	47	27	2,00
<input type="checkbox"/>	FuelCell	DFC300	300	47	27	2,00

Buttons: Insertar / Modificar, Eliminar

Figura 1.: Modelos de Pilas MCFC en BBDD. Fuente: elaboración propia.

La Base de Datos de Pilas MCFC presente en CALCBIMCFC permite añadir nuevos modelos, o bien modificar/eliminar los ya existentes, aumentando la versatilidad del software. En la figura siguiente se puede ver el formulario de inserción/modificación de Pilas en Base de Datos. Este requiere la siguiente información:

- 1) Fabricante de la Pila de Combustible.
- 2) Modelo de la Pila de Combustible.
- 3) Potencia Máxima de la Pila MCFC (kW).
- 4) Rendimiento Eléctrico de la Pila MCFC (%).
- 5) Rendimiento Térmico de la Pila MCFC (%).
- 6) Decaimiento del Rendimiento Eléctrico Anual (%).
- 7) Incremento del Rendimiento Térmico Anual (%).
- 8) Coste de Mantenimiento de la Pila MCFC (€/kWh producidos).
- 9) Vida del Stack de la Pila MCFC (años).
- 10) Lectura: permite que la pila se pueda modificar posteriormente, o no.
- 11) Coste de Instalación de la Pila MCFC [stack + equipos auxiliares] (€).
- 12) Coste del Stack de la Pila MCFC (€).

Además, en la BBDD será necesario introducir las Funciones de Distribución de Potencia de la Pila. Mediante estas funciones el software puede calcular la potencia de salida de la pila de combustible en función de la concentración de metano presente en el biogás. Es necesario introducir estas debido a que las Pilas MCFC, ante concentraciones de metano en el biogás inferiores al 60%, no producen la Potencia Nominal Máxima sino una cantidad

menor. En la figura siguiente se puede ver un ejemplo de dichas funciones, en este caso las de la Pila MCFC FuelCell DFC3000.

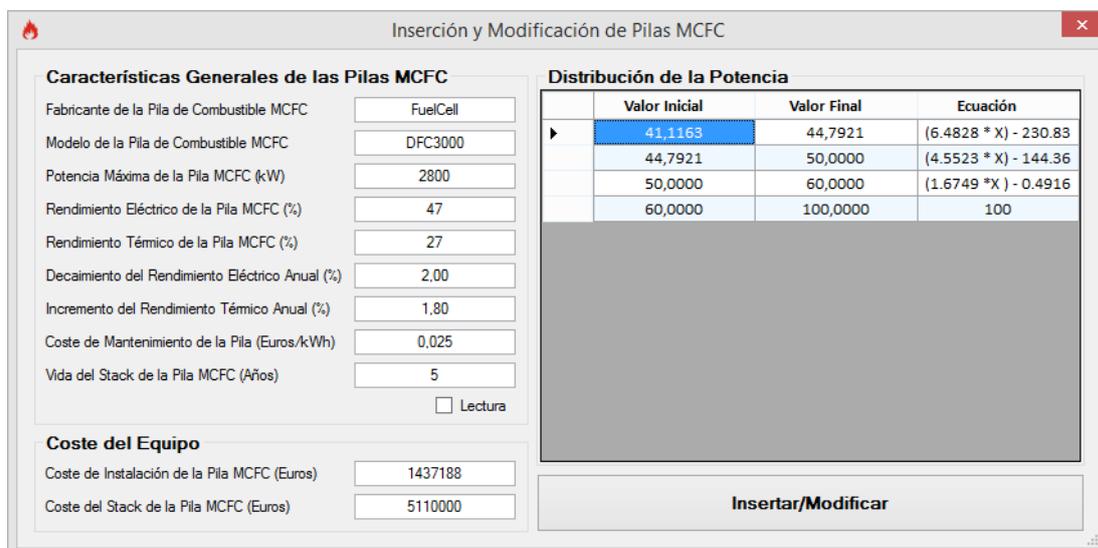
Para cada Función de Distribución de Potencia es necesario introducir su Valor Inicial y Valor Final de concentración de metano para los cuales es válida. Las funciones introducidas relacionan la Potencia Nominal de Salida de la Pila MCFC con la concentración de metano del biogás, designada como “X” en la figura siguiente.

Para que el software CALCBIMCFC pueda operar con dichas funciones es necesario traducirlas de la cadena de caracteres originaria a una función matemática. Este procedimiento se realiza a través de un sistema de análisis de expresiones matemáticas.

Aparte de la BBDD de Pilas MCFC, este software cuenta también con una Base de Datos de Sistemas de Desulfuración. En ella se pueden añadir diferentes fabricantes de sistemas de desulfuración, o bien se puede modificar/eliminar uno ya existente.

Para cada uno de los fabricantes de sistemas de desulfuración presentes en BBDD se pueden ver sus procesos de desulfuración. Cada fabricante podrá tener dos procesos de desulfuración asociados. Uno de ellos recibe el nombre de “A” y el otro de “B”.

Una vez creado un fabricante de sistemas de desulfuración ya es posible insertar, modificar y/o eliminar sus procesos asociados.



	Valor Inicial	Valor Final	Ecuación
▶	41,1163	44,7921	$(6.4828 * X) - 230.83$
	44,7921	50,0000	$(4.5523 * X) - 144.36$
	50,0000	60,0000	$(1.6749 * X) - 0.4916$
	60,0000	100,0000	100

Figura 2.: Formulario de Inserción de Pilas MCFC a BBDD (DFC3000). Fuente: elaboración propia.

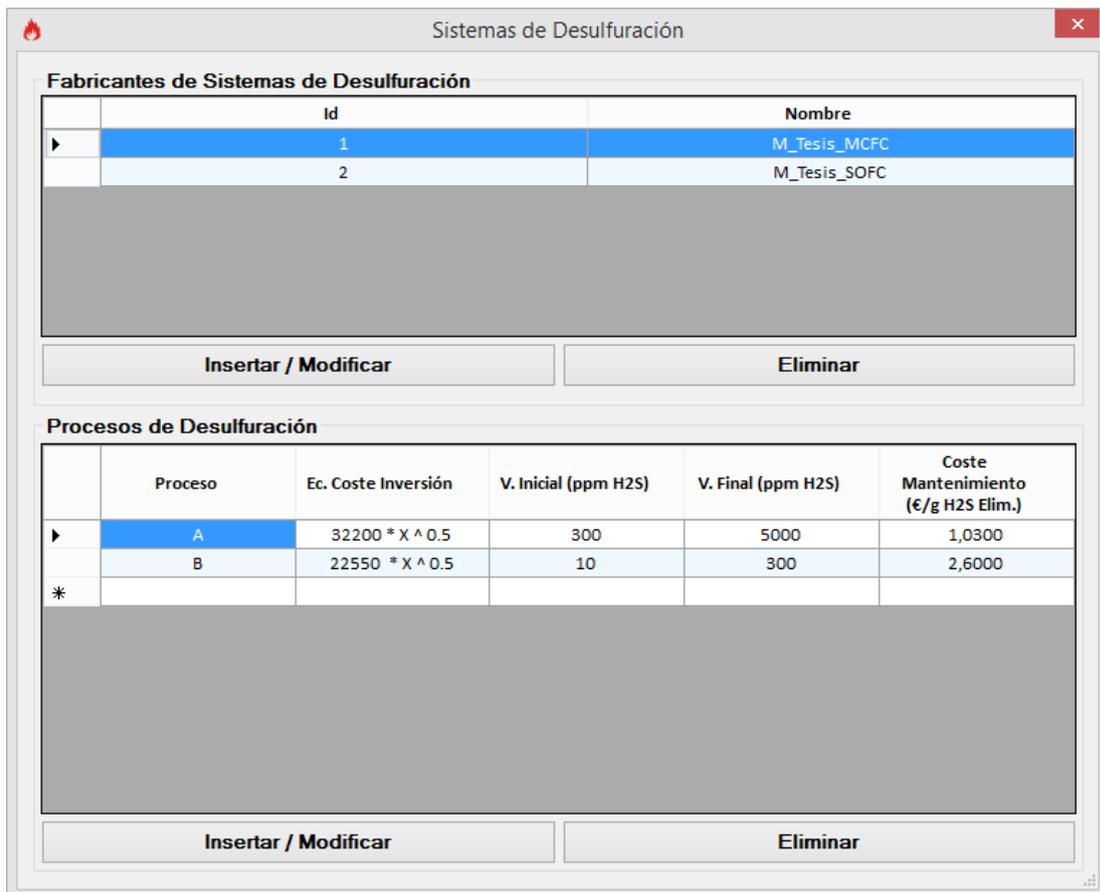
Para añadir a BBDD un Proceso de Desulfuración asociado a un determinado fabricante se requieren los siguientes datos:

- 1) Proceso: se introducirá “A” o “B”. El primer proceso que entra en funcionamiento se designará como “A” mientras que el último será el “B”.
- 2) Ecuación de Costes de Inversión: se introducirá la ecuación que rige los costes de inversión de dicho proceso. Estos costes estarán en función del tamaño de planta de desulfuración necesaria para la instalación, evaluado en Nm³/h y designado por “X” en la figura siguiente. A partir de estas ecuaciones, y conociendo el tamaño de

planta se obtiene el coste de inversión del proceso de desulfuración. Para que el software pueda operar con estas funciones es necesario traducirlas de la cadena de caracteres original a una función matemática. Este proceso lo realiza el sistema de análisis de expresiones matemáticas implementado.

- 3) Valor Inicial: concentración en ppm de H₂S en la que el proceso de desulfuración empieza a ser válido.
- 4) Valor Final: concentración en ppm de H₂S en la que el proceso de desulfuración deja de ser válido.
- 5) Coste de Mantenimiento: este se expresa en €/gramo de H₂S eliminado. Cada proceso de desulfuración tendrá un coste asociado, y a partir de él se determinará su coste de mantenimiento en función de la cantidad de H₂S eliminada por él.

En la figura siguiente se puede ver un ejemplo de sistema de desulfuración. En ella se muestran las características del mismo, que serán consideradas en los cálculos realizados por el software para dimensionar y evaluar económicamente una instalación de Pilas MCFC que emplee como combustible biogás.



Fabricantes de Sistemas de Desulfuración

Id	Nombre
1	M_Tesis_MCFC
2	M_Tesis_SOFC

Procesos de Desulfuración

Proceso	Ec. Coste Inversión	V. Inicial (ppm H2S)	V. Final (ppm H2S)	Coste Mantenimiento (€/g H2S Elim.)
A	$32200 * X ^ 0.5$	300	5000	1,0300
B	$22550 * X ^ 0.5$	10	300	2,6000

Figura 3.: Fabricantes y Procesos de Desulfuración en BBDD. Fuente: elaboración propia.

DATOS DE PARTIDA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA INSTALACIÓN

Una vez introducidas las Pilas MCFC y los Sistemas de Desulfuración deseados ya es posible emplearlos en el software desarrollado. En la figura siguiente se puede ver el primer formulario de introducción de datos a CALCBIMCFC. En él es necesario introducir el biogás de partida producido en la instalación a dimensionar que será empleado como combustible. Para ello se introducirán los años a evaluar con su producción de biogás respectiva, cuantificada en Nm³.

Una vez realizado esto se introducirá la concentración de metano presente en el biogás. Por defecto el software parte de un 50% de CH₄. Este valor debe ser personalizado por el usuario para la instalación a evaluar, al igual que las horas de funcionamiento máximas anuales que por defecto se fijan en 8760. Además es necesario introducir el Factor de Ajuste que adoptará el software para realizar el dimensionamiento de la instalación. Este estará comprendido entre 0 y 100, siendo dicho valor un porcentaje. Este factor permite al programa elegir soluciones óptimas para el Sistema MCFC que tengan un Factor de Carga superior al 100%. El límite a evaluar para el Factor de Carga en el dimensionamiento de la instalación lo marcará dicho Factor de Ajuste. Por defecto el software trae 10, lo que permite que este pueda escoger una solución óptima para el Sistema MCFC que tenga un Factor de Carga un 10% superior al 100%, es decir, permite elegir soluciones ligeramente sobredimensionadas con respecto al óptimo teórico. Es necesario tener en cuenta esta variable debido a que en instalaciones de producción de biogás puede no haber uniformidad en su producción anual.

Por último es necesario seleccionar las Pilas de Combustible MCFC que se deseen incluir en el algoritmo de resolución. Para ello se seleccionará su “checkbox” respectivo. Una vez introducidos los datos requeridos ya es posible lanzar el método de cálculo propuesto.

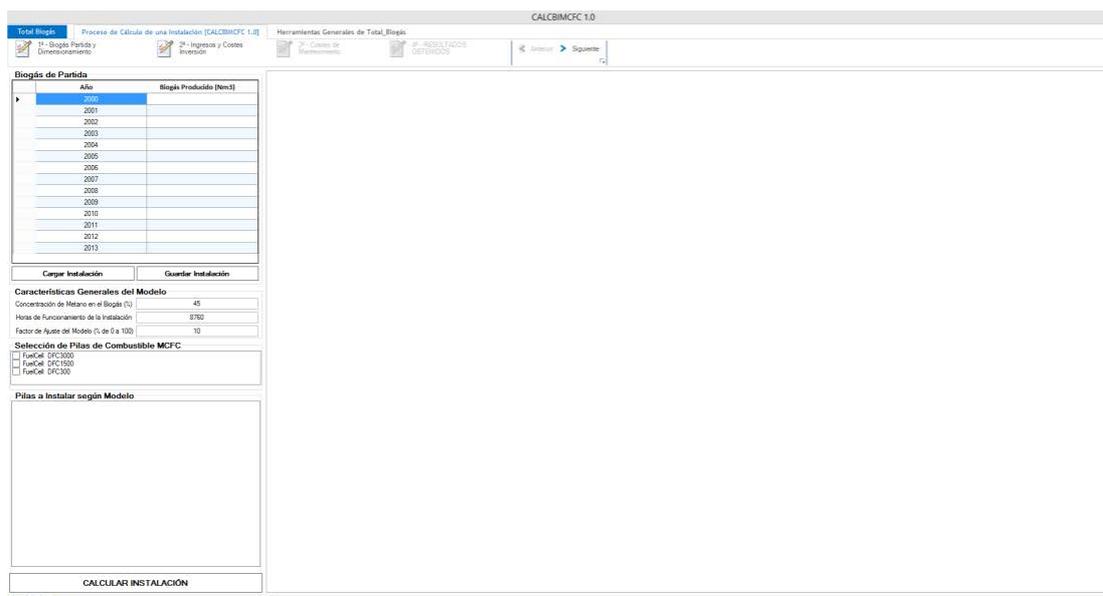


Figura 4.: Formulario 1 del Software CALCBIMCFC. Fuente: elaboración propia.

EJEMPLO DE APLICACIÓN: DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA MCFC PARA V. DE MERUELO

En este apartado se aplica el software desarrollado a una instalación de producción de biogás real para realizar el dimensionamiento y evaluación económica del Sistema de Pilas MCFC necesario. La instalación elegida es un vertedero de RSU de tamaño intermedio, siendo este el de Meruelo (Cantabria).

Una vez aplicado el software CALCBIMCFC a dicha instalación, se han obtenido los resultados que se muestran en la figura siguiente. El algoritmo de dimensionamiento indica los modelos de pilas escogidas y el número de unidades necesarias para esta instalación.

Así, el algoritmo ha dado como resultado que son necesarias una Pila MCFC FuelCell DFC1500 y tres FuelCell DFC300. Para cada pila que ha entrado en resolución se indica el tanto por uno que supone esta sobre el total del Sistema MCFC necesario para la instalación. Por último, se indica el tanto por uno que supone el Sistema MCFC planteado como solución por el software sobre su óptimo teórico. Este se aproximará más o menos a la unidad en función del Factor de Ajuste elegido.

Una vez obtenidos los modelos de Pilas MCFC con su número de unidades a instalar, el software calcula la energía eléctrica y térmica producida, expresada en kWh. Además, se indica el Factor de Carga del sistema, expresado en un % anual. Este indica la carga de trabajo del Sistema MCFC, y tendrá que ser evaluado con especial cuidado en instalaciones donde exista gran disparidad en la producción anual de biogás.

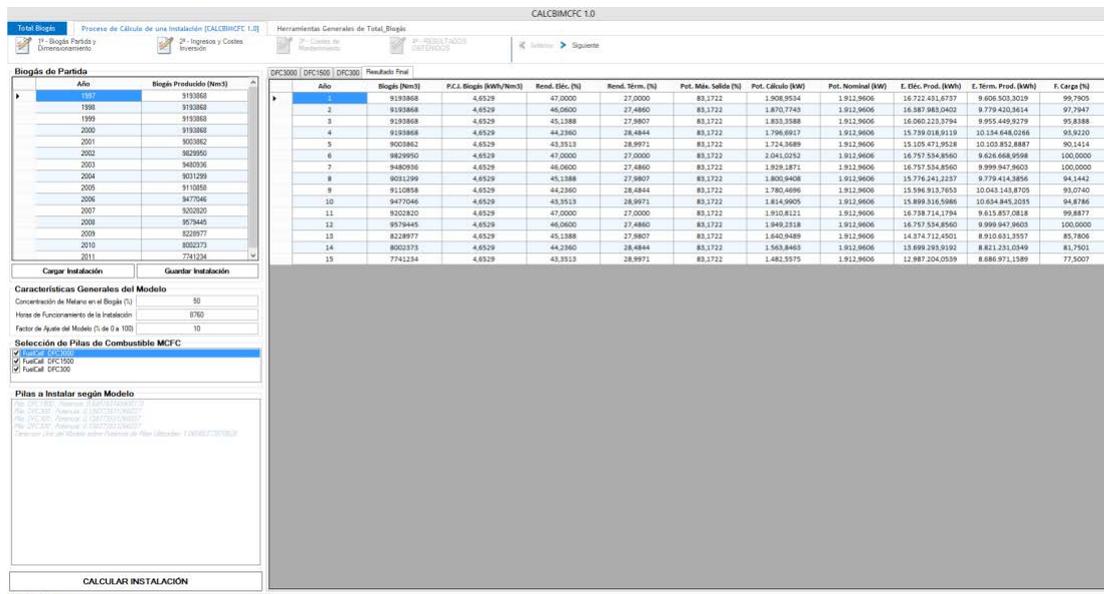


Figura 5.: Resultados del Algoritmo de CALCBIMCFC (V. Meruelo). Fuente: elaboración propia.

INGRESOS Y COSTES DE INVERSIÓN

Una vez obtenidos los modelos de Pilas MCFC y su número de unidades a instalar, el software CALCBIMCFC calcula los ingresos teóricos de dicho sistema. Para ello, resulta necesario dimensionar la planta de desulfuración vinculada al Sistema MCFC, labor realizada también por CALCBIMCFC. Conociendo su tamaño ya es posible obtener el coste de inversión del Proceso de Desulfuración. Por último, se calcularán los costes de inversión de las pilas de combustible del Sistema MCFC dimensionado.

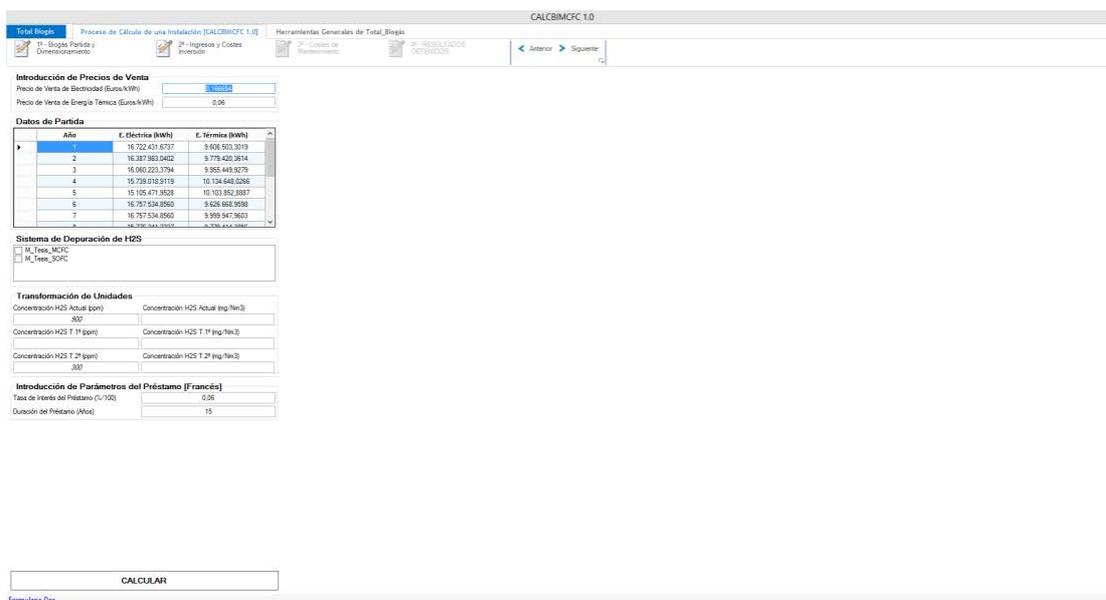
Para realizar dichos cálculos es necesario introducir una serie de variables al programa. En primer lugar habrá que definir el precio de venta de electricidad y de energía térmica. Dichos precios se expresarán en €/kWh. Los valores adoptados por defecto se pueden ver en la figura siguiente.

Para calcular los ingresos y costes de inversión, el software CALCBIMCFC parte de la energía eléctrica y térmica producida por la instalación para cada año evaluado. Dicho valor está expresado en kWh. A continuación, es necesario elegir el Proceso de Desulfuración a emplear en la instalación de los disponibles en BBDD. Para ello se pulsará en su “checkbox” correspondiente.

Además de las variables anteriores es necesario definir la concentración de H₂S presente en el biogás. A partir de esta concentración se calculará el coste de desulfuración del biogás para ser empleado como combustible en las Pilas de Carbonatos Fundidos. Un contenido normal de este gas en el biogás procedente de vertedero oscila entre las 100 y 300 ppm.

Por último, es necesario definir los parámetros de financiación del proyecto, es decir, el interés y el plazo de amortización. El modelo de financiación empleado será el Préstamo Francés por presentar la misma anualidad.

En la figura siguiente se puede ver de manera gráfica lo comentado anteriormente.



The screenshot shows the 'Formulario 2' window in the CALCBIMCFC 1.0 software. It contains several input fields and a data table. The 'Introducción de Precios de Venta' section has a 'Precio de Venta de Electricidad (€/kWh)' field set to 0.06. The 'Datos de Partida' table shows energy production data for years 1 through 8. The 'Sistema de Depuración de H2S' section has checkboxes for 'M_Tees_MCFC' and 'M_Tees_S9FC'. The 'Transformación de Unidades' section has input fields for H2S concentrations in ppm and mg/Nm3. The 'Introducción de Parámetros del Préstamo (Francés)' section has fields for 'Tasa de Interés del Préstamo (%)' set to 0.06 and 'Duración del Préstamo (Años)' set to 15. A 'CALCULAR' button is at the bottom.

Año	E. Eléctrica (kWh)	E. Térmica (kWh)
1	16.722.431.6737	9.406.503.3019
2	16.387.983.0402	9.779.420.3614
3	16.060.223.3794	9.952.483.9279
4	15.739.018.9119	10.124.648.0266
5	15.425.471.3528	10.103.952.8887
6	15.107.034.9560	9.626.682.9598
7	14.792.534.9560	9.989.947.9603
8	14.376.044.3897	9.106.424.3897

Figura 6.: Formulario 2 del Software CALCBIMCFC. Fuente: elaboración propia.

EJEMPLO DE APLICACIÓN: INGRESOS Y COSTES DE INVERSIÓN PARA V. DE MERUELO

A partir de los datos obtenidos en el apartado anterior para esta instalación y definidas las variables necesarias, ya es posible calcular los costes de inversión del Sistema MCFC dimensionado para el vertedero de Meruelo tomado como ejemplo.

Los resultados obtenidos para los ingresos teóricos del Sistema MCFC resultante, así como los costes de inversión del sistema de desulfuración y de las pilas de combustible a emplear se pueden ver en la figura siguiente. Además, se muestra el tamaño de planta de desulfuración a instalar, que para el vertedero de Meruelo es de 1100 Nm³/h.

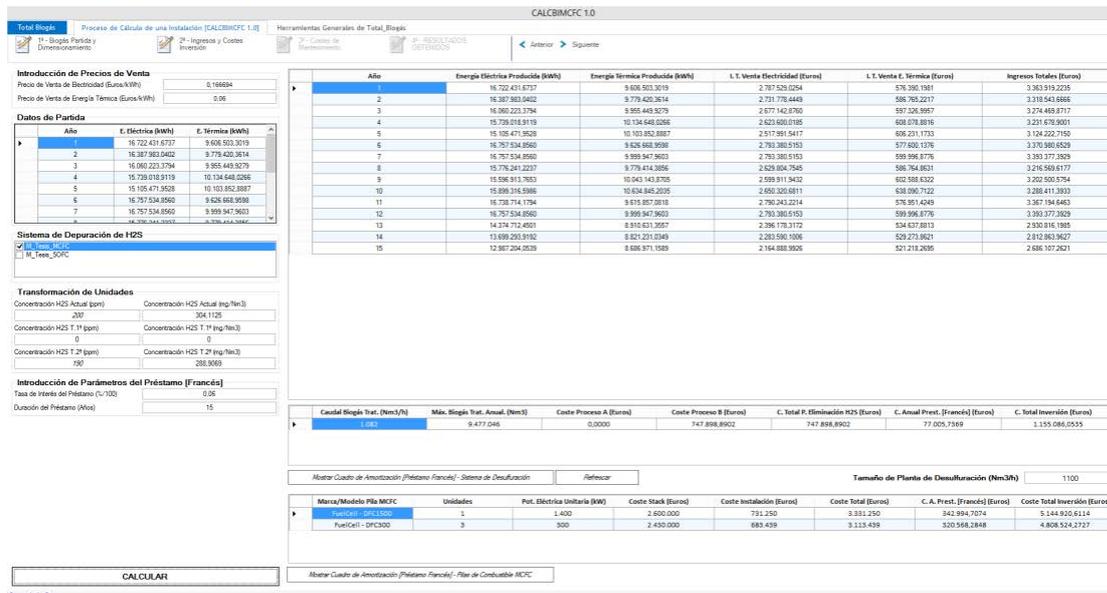


Figura 7.: Ingresos y Costes de Inversión por CALCBIMCFC (V. Meruelo). Fuente: elaboración propia.

Por último, este software calcula la tabla de amortización del proyecto, empleando el Método Francés, tanto para la planta de desulfuración como para el sistema de pilas a instalar. En la figura siguiente se puede ver el ejemplo de una de ellas.

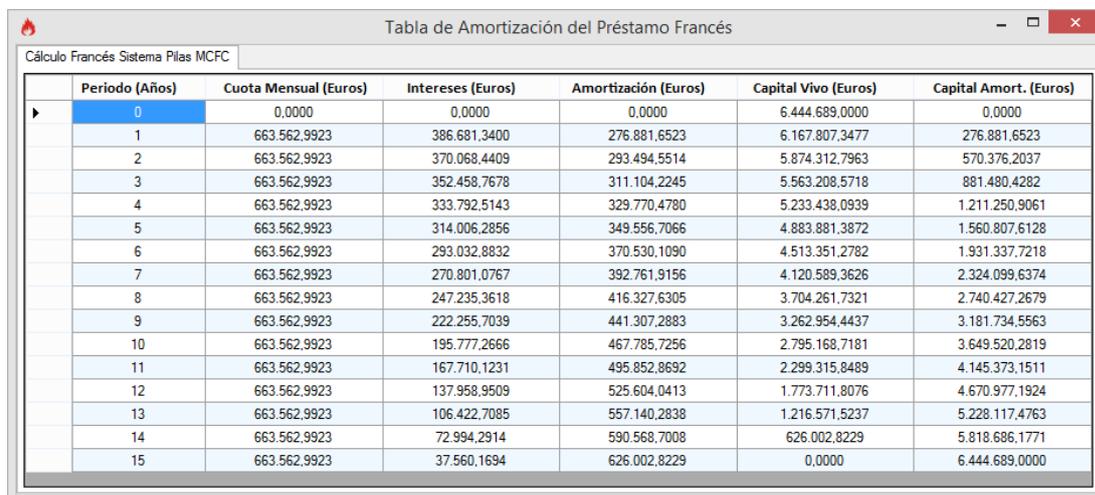


Figura 8.: Amortización [Francés] para S. de Pilas MCFC (V. Meruelo). Fuente: elaboración propia.

COSTES DE MANTENIMIENTO DEL SISTEMA MCFC

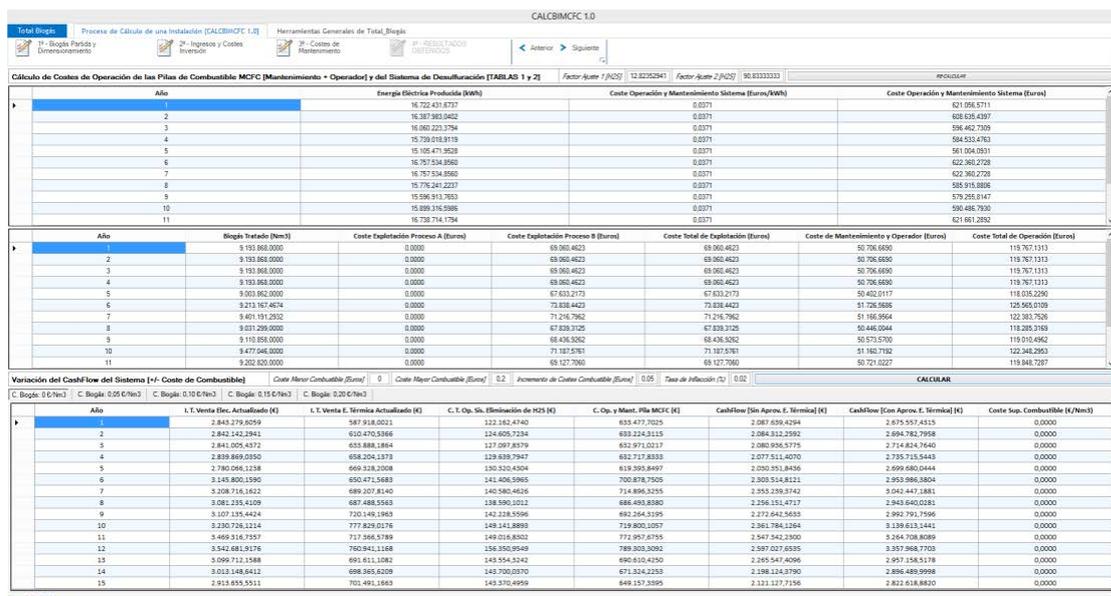
Una vez obtenidos los costes de inversión del Sistema MCFC, CALCBIMCFC calculará los costes de mantenimiento de las pilas de combustible y del sistema de desulfuración. Para realizar dicho cálculo el software parte de una serie de valores, alguno de ellos introducidos previamente en BBDD.

Para obtener el informe final de viabilidad económica para la instalación dimensionada es necesario introducir los distintos precios supuestos para el biogás. En un vertedero se puede suponer que este tiene un precio de 0 €/Nm₃ o superior a este, si se contabilizan los sistemas de captación del mismo. Para realizar esta labor se introducirá el menor y el mayor coste supuesto para el biogás con su incremento de costes, todos ellos definidos en euros. Mediante este incremento se evaluarán además los distintos costes intermedios entre el valor máximo y mínimo. Además, será necesario introducir la tasa de inflación.

Los valores adoptados por defecto por CALCBIMCFC para estas variables se pueden ver en la figura siguiente. Una vez introducidos estos valores ya se puede visualizar el informe final para la instalación. Su contenido se detallará en el apartado siguiente.

EJEMPLO DE APLICACIÓN: COSTES DE MANTENIMIENTO PARA V. DE MERUELO

En la figura siguiente se continúa la resolución del caso analizado en apartados anteriores. En ella se muestran los distintos costes de mantenimiento para las Pilas MCFC empleadas y para el Sistema de Desulfuración. Una vez obtenidos dichos costes ya es posible visualizar su informe final.



Año	Energía Eléctrica Producida (kWh)	Coste Operación y Mantenimiento Sistema (Euros/kWh)	Coste Operación y Mantenimiento Sistema (Euros)
2	16.722.421,8737	0,0371	621.056,5711
3	16.387.961,9462	0,0371	608.026,4997
4	16.060.223,3794	0,0371	596.462,7309
5	15.739.018,9119	0,0371	584.533,4763
6	15.425.471,5628	0,0371	573.004,0501
7	15.119.534,8560	0,0371	562.360,2728
8	14.821.241,2227	0,0371	552.515,8806
9	14.530.613,763	0,0371	543.275,9147
10	14.247.659,5985	0,0371	534.546,7930
11	13.972.374,1754	0,0371	526.324,2852

Año	Biogás Tratado (Nm ³)	Coste Explotación Proceso A (Euros)	Coste Explotación Proceso B (Euros)	Coste Total de Explotación (Euros)	Coste de Mantenimiento y Operador (Euros)	Coste Total de Operación (Euros)
2	9.193.968,0000	0,0000	69.960,4623	69.960,4623	50.706,6890	119.767,1513
3	9.193.968,0000	0,0000	69.960,4623	69.960,4623	50.706,6890	119.767,1513
4	9.193.968,0000	0,0000	69.960,4623	69.960,4623	50.706,6890	119.767,1513
5	9.003.962,0000	0,0000	67.603,2173	67.603,2173	50.402,9117	118.006,1290
6	8.713.167,4674	0,0000	73.838,4423	73.838,4423	51.706,5886	125.545,0309
7	8.401.191,2932	0,0000	71.216,7962	71.216,7962	51.186,5664	122.403,3626
8	8.031.299,0000	0,0000	67.829,3725	67.829,3725	50.446,0544	118.275,4269
9	8.110.561,0000	0,0000	68.406,5962	68.406,5962	50.571,0700	118.977,6662
10	8.477.046,0000	0,0000	71.187,5761	71.187,5761	51.160,7192	122.348,2953
11	9.202.820,0000	0,0000	68.127,7960	68.127,7960	50.721,0227	118.848,8287

Año	I.V. Venta (Euros Actualizado)	I.V. Venta E. Térmica Actualizado (E)	C. T. Op. Sls. (Estimación de H2S (E)	C. Op. y Mant. Pila MCFC (E)	Cashflow (Sin Apro. E. Térmica) (E)	Cashflow (Con Apro. E. Térmica) (E)	Coste Sup. Combustible (€/Nm ³)
2	2.842.379,0574	167.918,0023	122.142,4140	633.477,7025	2.069.459,4294	2.075.574,4219	0,0000
3	2.842.142,2941	620.470,5566	124.605,7234	633.224,3115	2.084.312,2592	2.094.782,7958	0,0000
4	2.841.005,4372	653.888,1864	127.097,8579	632.971,0217	2.080.956,5775	2.114.824,7640	0,0000
5	2.839.869,0350	658.204,1373	129.629,7947	632.717,8533	2.077.511,4070	2.135.715,5443	0,0000
6	2.780.046,1238	669.828,2058	130.120,4594	632.393,8497	2.070.951,2456	2.099.480,0444	0,0000
7	3.145.800,1590	650.471,5683	141.406,5965	700.878,7505	2.303.514,8121	2.953.986,3804	0,0000
8	3.208.718,1622	689.207,8140	140.980,4626	714.896,3255	2.355.239,3742	3.041.447,1881	0,0000
9	3.081.235,4109	667.488,5563	138.590,1012	686.483,8380	2.256.151,4717	2.903.540,0261	0,0000
10	3.107.135,4424	720.149,1963	142.228,5596	692.254,3195	2.272.642,5633	2.992.791,7596	0,0000
11	3.230.728,1214	777.829,0176	148.141,8889	719.800,1057	2.361.784,1264	3.139.613,1441	0,0000
12	3.469.314,7357	717.566,5789	149.016,8032	772.957,8795	2.547.542,2300	3.284.708,8089	0,0000
13	3.542.481,8176	702.842,1168	156.350,9549	789.203,0062	2.597.027,8535	3.301.966,7709	0,0000
14	3.092.712,1548	691.611,1082	143.354,3242	690.610,4190	2.185.547,4096	2.957.158,5178	0,0000
15	3.013.148,6412	698.365,6209	143.700,0370	671.324,2253	2.198.124,3790	2.896.489,9998	0,0000
15	2.912.695,5512	701.491,1463	143.370,4999	649.137,3095	2.121.127,7196	2.822.618,8420	0,0000

Figura 9.: Costes de Mantenimiento por CALCBIMCFC (V. Meruelo). Fuente: elaboración propia.

RESULTADOS OBTENIDOS POR EL MODELO

Como resultado, CALCBIMCFC genera un informe final sobre el dimensionamiento y evaluación económica realizada. Este está dividido en dos partes, una que muestra los resultados teniendo en cuenta la cogeneración y otra que no. En él, se puede ver la evolución del Payback, Cash Flow, TIR, etc. en función de las distintas variables de partida.

Además, este software permite evaluar la afección en la rentabilidad de un Sistema MCFC ante una variación en la concentración de metano o de sulfuro de hidrógeno presentes en el biogás de partida. Para ello se introducirán las distintas concentraciones de metano y H₂S a evaluar en % y ppm respectivamente. Lo comentado se puede ver en la figura siguiente:

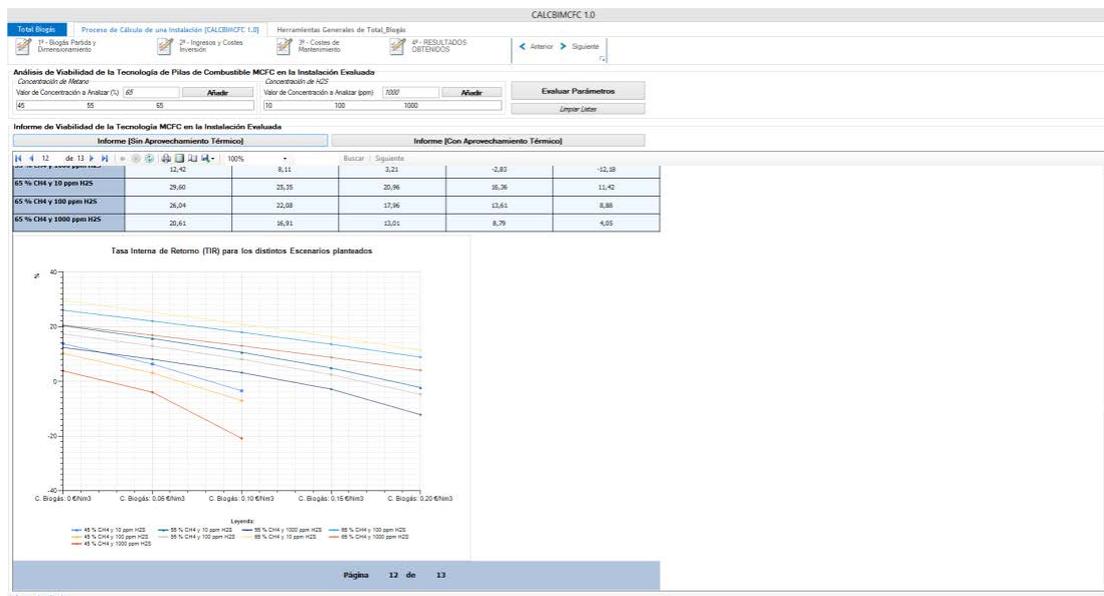


Figura 10.: Informe Final de Resultados de CALCBIMCFC (V. Meruelo). Fuente: elaboración propia.

EJEMPLO DE APLICACIÓN: RESULTADOS OBTENIDOS PARA V. DE MERUELO

En este apartado se van a mostrar alguno de los resultados obtenidos por CACBIMCFC para el vertedero de Meruelo tomado como ejemplo. Este software ha dimensionado y evaluado la rentabilidad económica de un Sistema MCFC en dicha instalación. Para ello, se han supuesto diferentes escenarios en los cuales se ha variado la concentración de metano, el sulfuro de hidrógeno y el precio del biogás empleado como combustible. Se han planteado estos escenarios con el fin de determinar el grado de influencia de estos parámetros en la rentabilidad del Sistema MCFC dimensionado. Por último, también se ha tenido en cuenta una posible cogeneración en la instalación frente a no realizar dicho aprovechamiento térmico.

Los modelos y número de unidades de Pilas MCFC obtenidas por el dimensionamiento realizado por CALCBIMCFC se pueden ver a continuación:

- Hipótesis [45 % CH₄] → 1 x DFC1500 + 2 x DFC300
- Hipótesis [50 % CH₄] → 1 x DFC1500 + 3 x DFC300
- Hipótesis [55 % CH₄] → 1 x DFC1500 + 4 x DFC300
- Hipótesis [60 % CH₄] → 1 x DFC3000

Los resultados obtenidos para alguna de las hipótesis planteadas, con aprovechamiento de la energía térmica producida, se pueden ver a continuación.

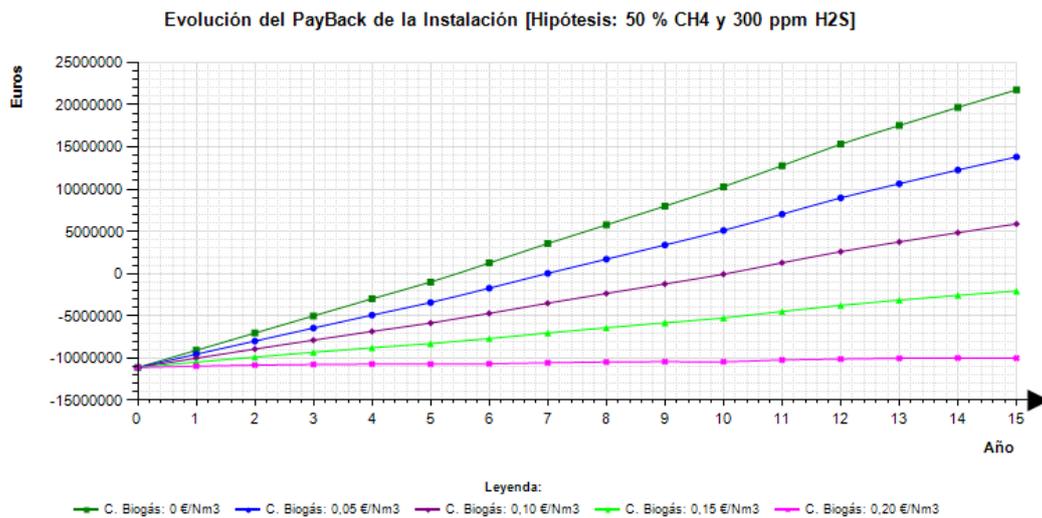


Figura 11.: Ev. PayBack en V. Meruelo S.A.T. [50% CH₄ y 300 ppm H₂S]. **Fuente:** elaboración propia.

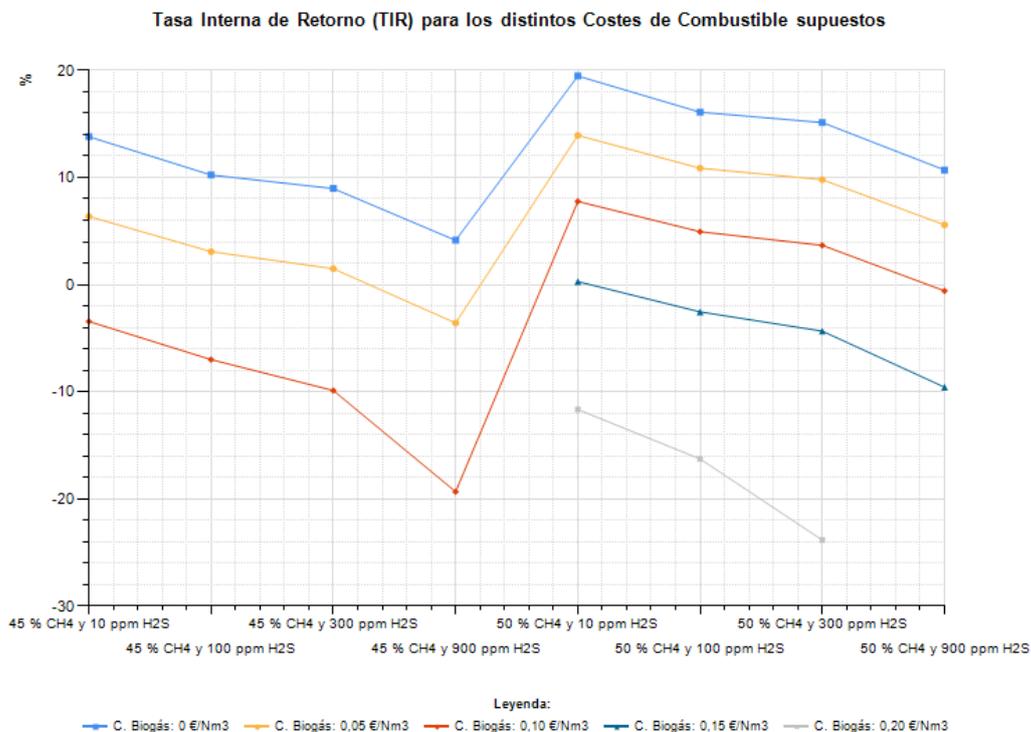


Figura 12.: Evolución TIR [45%-50% CH₄] en V. Meruelo S.A.T. **Fuente:** elaboración propia.

Los resultados obtenidos para las mismas casuísticas anteriores, sin aprovechamiento de la energía térmica producida, se pueden ver a continuación.

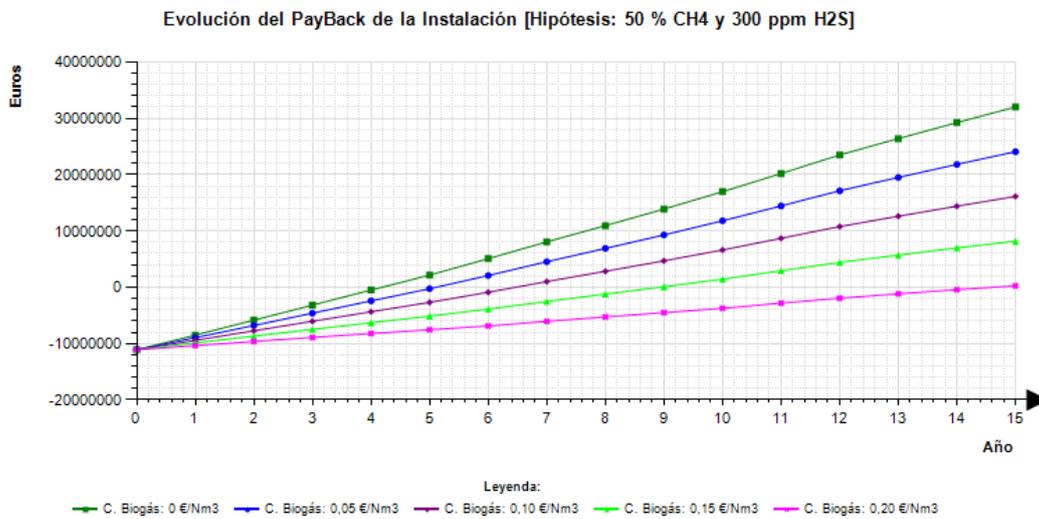


Figura 13.: Ev. PayBack en V. Meruelo C.A.T. [50% CH4 y 300 ppm H2S]. **Fuente:** elaboración propia.

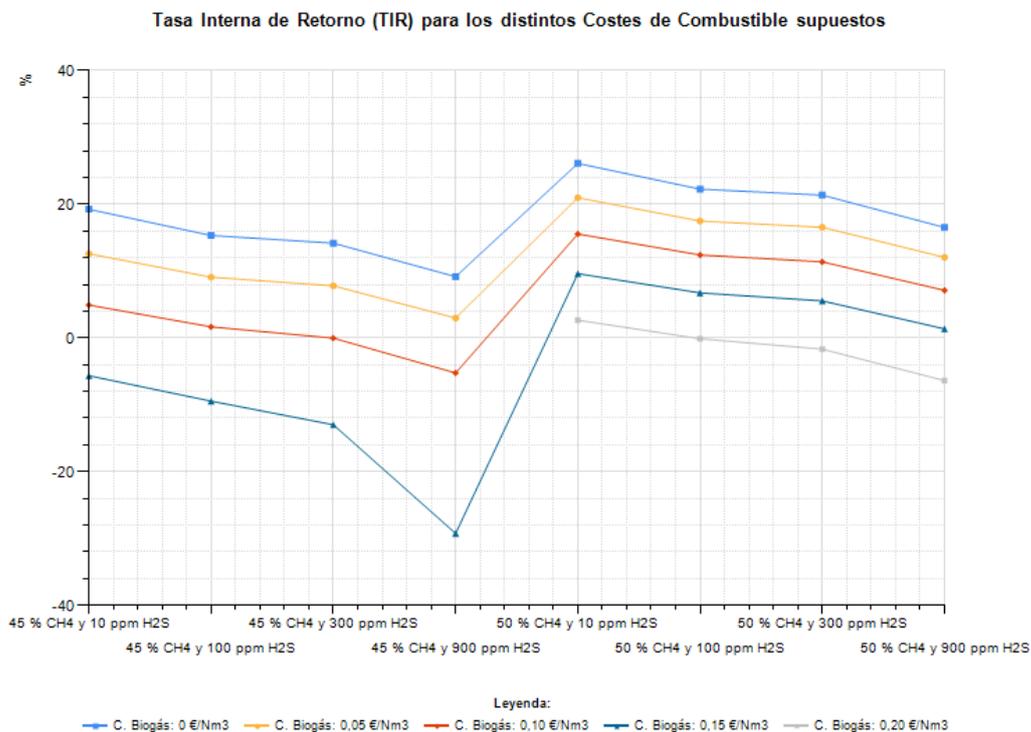


Figura 14.: Evolución TIR [45%-50% CH4] en V. Meruelo C.A.T. **Fuente:** elaboración propia.

Por último, en la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos de los distintos escenarios planteados para el vertedero de Meruelo, y la diferencia de TIR existente entre las alternativas que tienen y no tienen en cuenta la cogeneración.

Tabla 1.: Dif. y media de TIR. [con A.T. y sin A.T.] para el V. de Meruelo. **Fuente:** elaboración propia.

Composición del Biogás	TIR [Sin Aprov. Térmico] (%)	TIR [Con Aprov. Térmico] (%)	Diferencia (%)
45 % CH ₄ y 10 ppm H ₂ S	13,82	19,26	5,45
45 % CH ₄ y 100 ppm H ₂ S	10,24	15,34	5,10
45 % CH ₄ y 300 ppm H ₂ S	8,97	14,19	5,22
45 % CH ₄ y 900 ppm H ₂ S	4,13	9,17	5,04
50 % CH ₄ y 10 ppm H ₂ S	19,48	26,12	6,64
50 % CH ₄ y 100 ppm H ₂ S	16,10	22,27	6,17
50 % CH ₄ y 300 ppm H ₂ S	15,13	21,38	6,24
50 % CH ₄ y 900 ppm H ₂ S	10,71	16,54	5,83
55 % CH ₄ y 10 ppm H ₂ S	20,38	27,26	6,88
55 % CH ₄ y 100 ppm H ₂ S	17,39	23,83	6,44
55 % CH ₄ y 300 ppm H ₂ S	16,56	23,06	6,50
55 % CH ₄ y 900 ppm H ₂ S	12,58	18,66	6,08
60 % CH ₄ y 10 ppm H ₂ S	32,30	41,08	8,77
60 % CH ₄ y 100 ppm H ₂ S	28,00	36,00	8,00
60 % CH ₄ y 300 ppm H ₂ S	27,15	35,18	8,03
60 % CH ₄ y 900 ppm H ₂ S	21,86	29,10	7,24

CONCLUSIONES

La investigación realizada ha dado como resultado la creación de un método y un software de dimensionamiento para este tipo de instalaciones. Con el desarrollo de las Pilas MCFC y su continua disminución de costes, esto resulta importante. Este software es capaz de determinar no sólo el modelo y cantidad de Pilas MCFC a instalar, sino también su rentabilidad económica en función de la composición del biogás de partida.

Según los resultados obtenidos para el vertedero de Meruelo, este tipo de pilas ha demostrado ser económicamente viable. Además, estos concluyen que es totalmente aconsejable realizar cogeneración, obteniendo una diferencia de TIR que puede superar los 8 puntos.

Por último, se ha determinado el grado de afección de la composición del biogás en la rentabilidad de este tipo de pilas. Así, una instalación que produzca biogás con un 60% de metano puede tener Tasas Internas de Retorno superiores a 10 puntos sobre otra que lo produzca con un 45%. Como contrapartida, el H₂S apenas afecta significativamente a la rentabilidad.

REFERENCIAS

Fuel Cell Handbook (7th Edition). (2004). U.S. Department of Energy.

Farooque, M. et al. (2011). *DFC Power Plants: Research to Reality*. Presented at International Workshop on Fuel Cells Degradation Issues. Greece. *DFC3000 (2.8 MW) Direct FuelCell Power Plant Applications Guide*. (2010). FuelCell Energy. *DFC3000 (2.8 MW) Direct FuelCell Power Plant Applications Guide*. (2010). FuelCell Energy. *DFC300MA Direct FuelCell Power Plant Applications Guide*. (2012). FuelCell Energy.

ETE 06. (2007). IEA Energy Technology Essentials.

Economic Feasibility Study for Molten Carbonate Fuel Cells Fed with Biogas. (2010). Journal of Electrochemical Science and Technology. Vol. 1, No. 2, p. 102-111. <http://dx.doi.org/10.5229/JECST.2010.1.2.102>

Hydrogen Student Design Contest Q&A. (2012). Supported by the U.S. Department of Energy. <<http://www.hydrogencontest.org/>>

Remick, R.; Wheeler, D. (2010). *Molten Carbonate and Phosphoric Acid Stationary Fuel Cells: Overview and Gap Analysis*. Technical Report NREL/TP-560-49072.

The Study of Pretreatment of Fuel and Operation Technology for 250 kW Class MCFC System. Supported by the Government of South Korea. UCM 1886-8280-6.