



**Universidad
Zaragoza**

Proyecto Fin de Carrera Anexos

***Estudio para la valorización energética de
fangos y predimensionado de un digestor
anaerobio en la EDAR de Barbastro (Huesca)***

Especialidad

Ingeniería Técnica Mecánica

Autor

Luis Ballarín Teres

Director

Eva María Llera Sastresa

Escuela de Ingeniería y Arquitectura de Zaragoza (EINA)

Septiembre 2013

Índice

Anexo1. Cálculos realizados para el dimensionado del digestor y la obtención Poder Calorífico del Biogás.....	3
1.1 Programa de cálculo utilizado y funcionamiento básico	3
1.2 Cálculos realizados	7
Anexo 2. Cálculos del estudio Económico	16
1.1 Cálculo del Gasto eléctrico y del Ahorro Neto	16
1.2 Costes de las instalaciones y presupuesto	19
1.3 Análisis de la rentabilidad.....	20

Anexo1. Cálculos realizados para el dimensionado del digester y la obtención Poder Calorífico del Biogás.

1.1 Programa de cálculo utilizado y funcionamiento básico

Para llevar a cabo los cálculos necesarios para el dimensionado del digester se ha utilizado el programa informático (EES), ya que es una herramienta sencilla que permite la resolución de ecuaciones. Además permite generar tablas y gráficos para ver como se modifican distintas variables al cambiar el valor de otra relacionada. Gracias a ello se han podido realizar una serie de tablas y gráficos para ver como variaba el poder calorífico del biogás en función del porcentaje de metano. Otra ventaja de este programa es que tiene incorporadas herramientas para el cálculo de propiedades termodinámicas de distintas sustancias. De esta forma se pueden calcular variables como volúmenes de sustancias a distintas presiones y temperaturas.

- Funcionamiento

La utilización de esta herramienta informática es sencilla únicamente es necesario escribir las ecuaciones que se quieran resolver en la ventana de Equations.

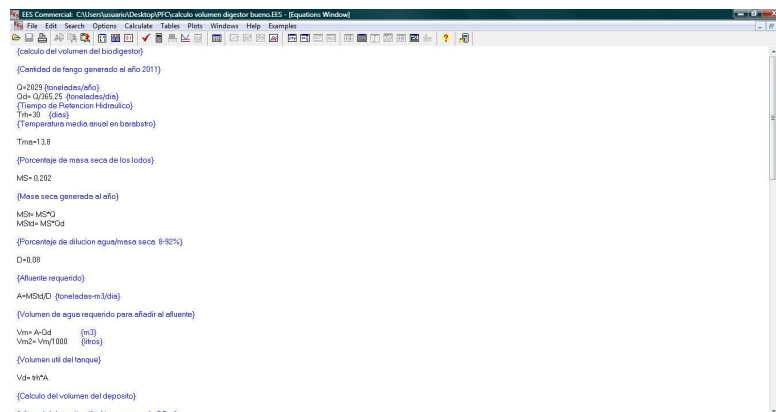


Figura 1 ventana de ecuaciones

ANEXOS: Valorización energética de Fangos y predimensionado del digestor

Una vez hayan sido introducidas se le da al botón de compilar y si el numero de variables es igual al de ecuaciones, entonces se puede dar al botón de resolver. Si el número de ecuaciones y variables no coincide aparecerá una ventana de Error, especificando donde se encuentra el fallo.

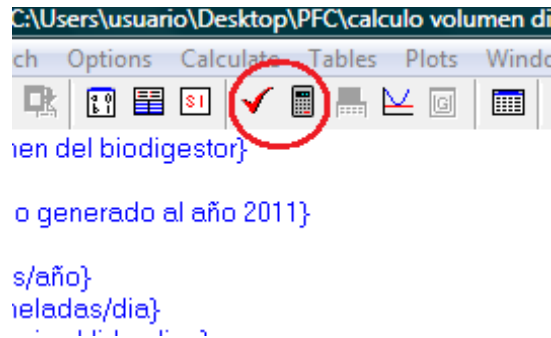


Figura 2 Botones de compilar y calcular

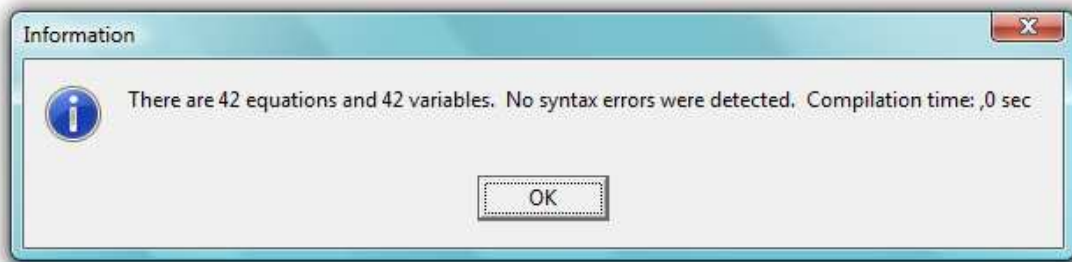


Figura 3 Mensaje de compilación

Una vez se han resuelto las ecuaciones el programa nos conduce directamente a la ventana donde se nos muestra el valor de cada una de las variables.

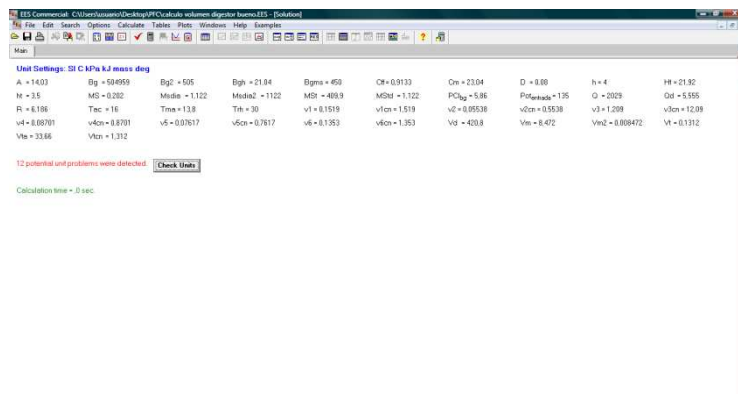


Figura 4 ventana de resultados

Por otra parte para escribir cosas que no queremos que lea el programa, como comentarios de los procedimientos o unidades, es necesario escribirlas entre llaves. Para la generación de tablas y gráficos es necesario que pongamos entre llaves aquella variable que queramos variar.

Para generar una gráfica es necesario primero haber generado una tabla paramétrica. Para ello vamos a la pestaña superior de Tables y pinchamos en la pestaña de nueva tabla. Aparecerá una ventana que nos pide que seleccionemos las variables que queremos introducir en la tabla. Hay que recordar que la que queremos variar su valor tiene que estar entre llaves. Una vez han sido elegidas, se forma la tabla donde podemos introducir todos los valores que queramos. Por último una vez introducidos los valores de la variable que queremos modificar pulsamos el botón verde de play y el programa calculará todas las variables.

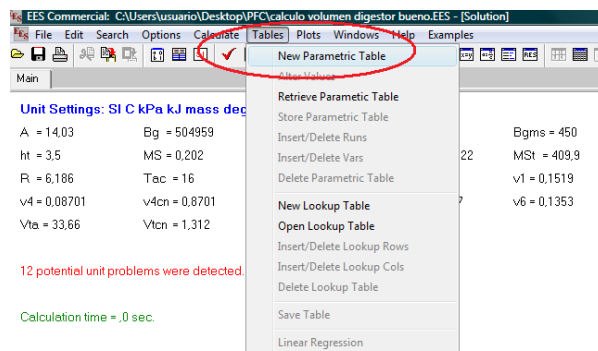


Figura 5 menú de pestañas

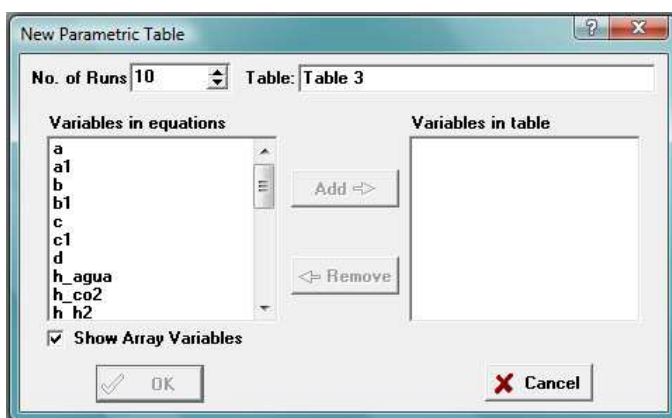


Figura 6 pantalla de configuración de tablas

	1 Y _{met}	2 PCI _{bg}
Run 1	0,4	3111
Run 2	0,45	3498
Run 3	0,5	3885
Run 4	0,55	4272
Run 5	0,6	4658
Run 6	0,65	5045
Run 7	0,7	5432
Run 8	0,75	5819
Run 9	0,8	6206
Run 10	0,85	6593

Figura 7 tabla paramétrica

Para generar un grafico hacemos un proceso similar al anterior, solo que esta vez pulsamos la pestaña superior de Plots (Tablas). Aparecerá una ventana donde se nos permitirá elegir las variables que queremos poner en cada eje y las características visuales de la grafica. Una vez hayamos seleccionado todo, pulsamos el botón de aceptar y automáticamente aparecerá la ventana de la grafica.

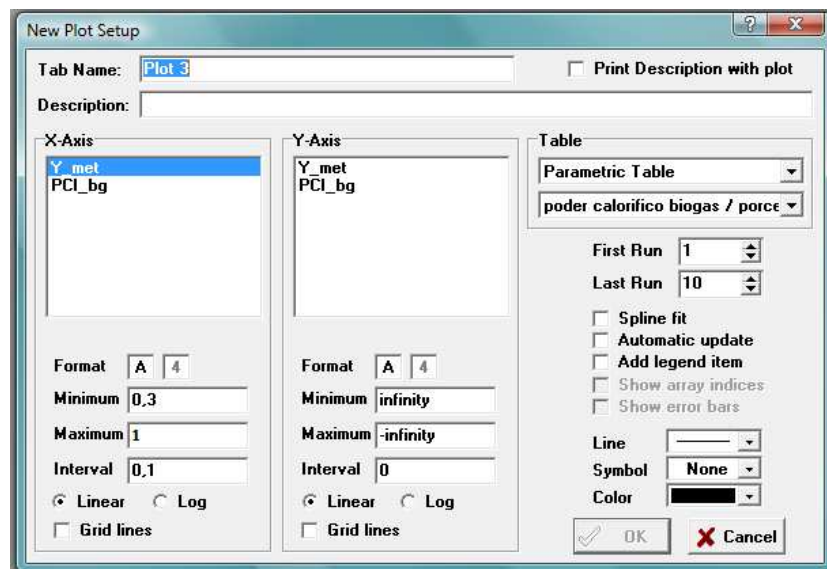


Figura 8 ventana de configuración de graficas

Para desplazarnos por el programa y ver las graficas, tablas ecuaciones... solo es necesario pinchar en la pestaña de Windows y seleccionar lo que queramos ver.

1.2 Cálculos realizados

A continuación se expondrán la relación de ecuaciones que han sido escritas en el EES para calcular y realizar los cálculos propios del predimensionado.

Cálculo del Volumen del Digestor

{calculo del volumen del biodigestor}

{Cantidad de fango generado al año 2011}

$Q=2029$ {toneladas/año}

$Q_d= Q/365,25$ {toneladas/dia}

{Tiempo de Retencion Hidraulico}

$Trh=30$ {dias}

{Temperatura media anual en barabastro}

$Tma=13,8$

{Porcentaje de masa seca de los lodos}

$MS= 0,202$

{Masa seca generada al año}

$MSt= MS*Q$

$MStd= MS*Q_d$

{Porcentaje de dilucion agua/masa seca 8-92%}

$D=0,08$

{Afluente requerido}

$A=MStd/D$ {toneladas-m3/dia}

{Volumen de agua requerido para añadir al afluente}

$Vm= A-Q_d$ {m3}

$Vm2= Vm/1000$ {litros}

{Volumen util del tanque}

$Vd= trh*A$

{Calculo del volumen del deposito}

{altura del deposito cilíndrico, margen de 0,5 m}

$$h=4 \quad \{\text{m}\}$$

$$ht=h-0,5 \quad \{\text{m}\}$$

{calculo del radio del cilindro}

$$Vd=\pi*(R^2)* ht$$

Cálculo del Biogás Generado y el Consumo del Motor

Para la estimación del biogás generado en la instalación del digestor, así como de la potencia generada se han programado las siguientes ecuaciones:

{ESTIMACION DEL BIOGAS GENERADO}

$$Bgms= 450 \quad \{\text{L / Kg masa seca}\}$$

$$Msdia= A*D \quad \{\text{ton/ dia}\}$$

$$Msdia2 =Msdia*1000 \quad \{\text{kg/dia}\}$$

{volumen del biogas generado}

$$Bg= Bgms*Msdia2 \quad \{\text{litros/dia}\}$$

$$Bg2=Bg/1000 \quad \{\text{m3/dia}\}$$

$$Bgh=Bg2/24 \quad \{\text{m3/h}\}$$

{ESTIMACION DE LA POTENCIA GENERADA}

{Consumo del motor por hora}

$$Pot_entrada= 135 \quad \{\text{kW}\}$$

$$PCI_bg=5,86 \quad \{\text{kWh/m3}\}$$

$$Cm=pot_entrada/PCI_bg \quad \{\text{m3 biogas/hora}\}$$

{Coeficiente de funcionamiento diario}

$$Cff= Hf/24 \quad \{\% \text{ de horas que funciona al dia}\}$$

{horas de funcionamiento al dia}

$$Hf=Bg2/ Cm$$

Para la estimación del volumen de los tanques de almacenamiento del biogás se ha calculado el volumen que ocupa cada uno de los gases que componen el biogás en condiciones normales (1 bar, 20°C) y posteriormente el volumen que ocupan los mismos componentes en las condiciones de almacenamiento. Después se ha obtenido el volumen específico del biogás en ambas condiciones sumando cada uno de los componentes en proporción al porcentaje en el que se encuentran presentes en el biogás. Al dividir el volumen en condiciones de almacenamiento entre el volumen en condiciones normales y multiplicar el resultado por el caudal de biogás generado se obtiene el volumen que tendrán que tener los tanques de almacenamiento. A continuación se muestra el código que ha sido introducido en el programa:

{Estimacion volumen tanque de almacenamiento}

{volumen con presion de 1 bar, condiciones normales}

v1cn=Volume(CH4;T=20;P=100)
v2cn=Volume(CO2;T=20;P=100)
v3cn=Volume(H2;T=20;P=100)
v4cn=Volume(N2;T=20;P=100)
v5cn=Volume(O2;T=20;P=100)
v6cn=Volume(H2O;T=20;P=100)

Vtcn= 0,65*v1cn+0,3*v2cn+0,01*v3cn+0,02*v5cn+0,01*v4cn+0,01*v6cn
{m3/kg}

{volumen con presion de 10 bar}

v1=Volume(CH4;T=20;P=1000)
v2=Volume(CO2;T=20;P=1000)
v3=Volume(H2;T=20;P=1000)
v4=Volume(N2;T=20;P=1000)
v5=Volume(O2;T=20;P=1000)
v6=Volume(H2O;T=20;P=1000)

Vt= 0,65*v1+0,3*v2+0,01*v3+0,02*v5+0,01*v4+0,01*v6 {m3/kg}

{Tiempo de acumulacion}

Tac= 16 {horas}

{Calculo volumen tanque}

$$V_{ta} = B_{gh} \cdot (v_t / v_{tcn}) \cdot T_{ac} \quad \{m^3\}$$

Una vez introducido el código en el programa y compilado de correctamente se obtienen los siguientes valores de las variables:

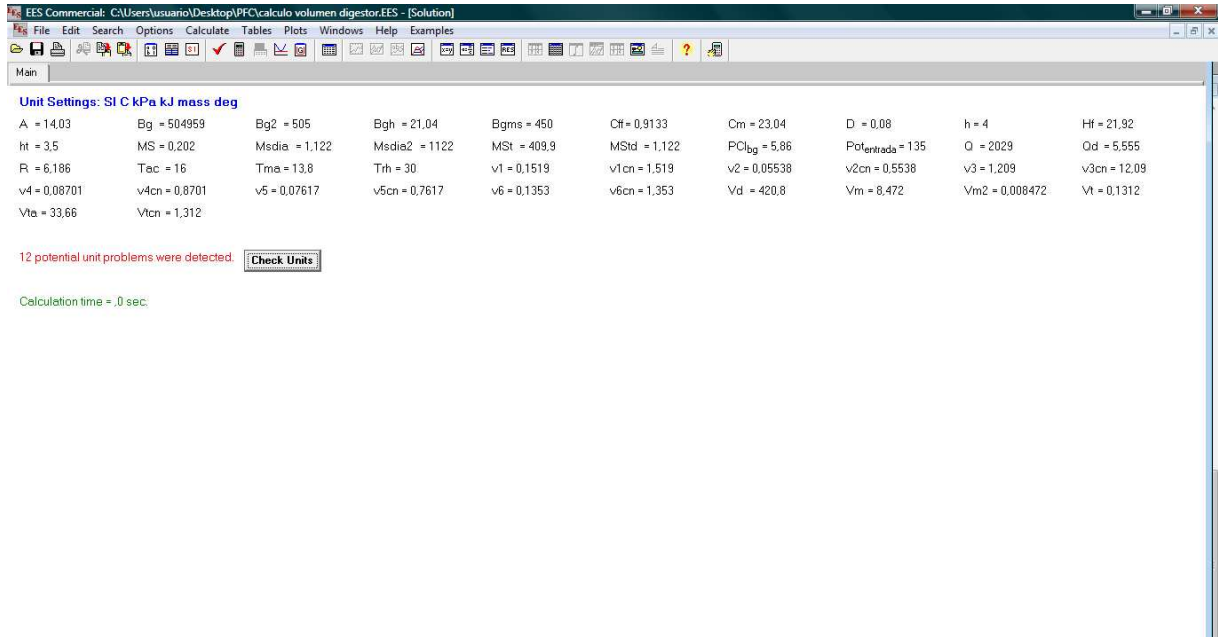


Figura 9 ventana de resultados con los valores de las variables

Calculo del Poder Calorífico Inferior del Biogás

En primer lugar, es necesario definir que es el poder calorífico y la diferencia existente entre el PCI (Poder Calorífico inferior) y el PCS (Poder Calorífico Superior). El poder calorífico es la cantidad de energía que la unidad de masa de una determinada materia puede desprender al producirse una reacción química de oxidación, es decir, al producirse una combustión. El poder calorífico expresa la energía máxima que puede liberar un determinado elemento durante una reacción química de combustión.

Al hablar de poder calorífico es necesario hacer una distinción entre el superior (PCS) y el inferior (PCI), que dependerá de si se tiene o no en cuenta el calor necesario para evaporar el agua.

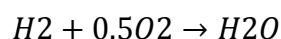
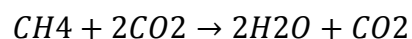
- Poder Calorífico Superior: Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de combustible cuando el vapor de agua originado en la combustión está condensado y se contabiliza, por consiguiente, el calor desprendido en este cambio de fase.
- Poder Calorífico Inferior: Es la cantidad total de calor desprendido en la combustión completa de una unidad de volumen de combustible sin contar la parte correspondiente al calor latente del vapor de agua generado en la combustión, ya que no se produce cambio de fase, y se expulsa como vapor. Es el valor que interesa en los usos industriales, por ejemplo hornos o turbinas, porque los gases de combustión que salen por la chimenea están a temperaturas elevadas, y el agua en fase vapor no condensa. También es llamado poder calórico neto, ya que al poder calorífico superior se resta el calor latente de evaporación.

Para el cálculo del poder calorífico del biogás lo primero que se ha llevado a cabo es definir las condiciones de referencia ($T^a= 25^{\circ}\text{C}$) y la composición del biogás, que en este estudio se ha elegido la siguiente:

Componente	Proporción (%)
Metano (CH ₄)	65
Dióxido de Carbono (CO ₂)	30
Hidrogeno (H ₂)	1
Otros (sulfuros, agua, oxígeno)	4

Tabla A1. 1 Composición del Biogás generado

Posteriormente se han ajustado las reacciones de combustión del hidrogeno y el metano. Una vez ajustadas se ha calculado las entalpias de los compuestos de las reacciones, en las condiciones de referencia, a excepción del oxígeno.



Con las entalpías y la reacción ajustada se calcula el PCI del metano y el hidrogeno.

$$PCI_{CH4} = h(CO_2) + 2h(H_2O) - h(CH_4)$$

$$PCI_{H2} = h(H_2O) - h(H_2)$$

Después se multiplica el resultado por la densidad de cada uno de ellos en las condiciones de referencia y posteriormente por 0.239 para pasar el resultado a calorías. Una vez obtenidos los poderes caloríficos de ambos se calcula el del biogás sumando ambos en su correcta proporción. A continuación se muestra el código introducido en el programa para la realización de los cálculos:

{calculo del Poder Calorifico inferior del biogas}

{Temperatura de referencia}

T_ref= 25 {°C}

{Composicion biogas %}

Y_bg=1

Y_met=0,65

Y_hid= 0,01

Y_otr=0,04

Y_co2=1-(Y_met+Y_hid+Y_otr)

PCI_bg= -(Y_met*PCI_met + Y_hid*PCI_h2)

{Cálculo del Poder calorifico Inferior del Metano}

{Ajuste de la reaccion de combustion} {A(ch4)+B(co2)=C(h2o)+D(co2)}

a=1

a=d

(4*a)=(2*c)

(2*b)=c+(2*d)

h_met =Enthalpy(CH4;T=T_ref) {kJ/Kmol}

h_h2o=Enthalpy(H2O;T=T_ref) {kJ/Kmol}

h_co2=Enthalpy(CO2;T=T_ref) {kJ/Kmol}

PC1=h_co2 + 2*(h_h2o) - h_met {kJ/Kmol}

rho_met=Density(CH4;T=T_ref;P=100) {Kmol/m3}

$$PCI_{met} = PC1 \cdot \rho_{met} \cdot 0,239 \text{ {kcal/m}^3}$$

{calculo del Poder calorifico Inferior del Hidrogeno}

{Ajuste de la reaccion de combustion} $\{a \cdot H_2 + b \cdot O_2 = c \cdot H_2O\}$

$$a1 = 1$$

$$2 \cdot a1 = 2 \cdot c1$$

$$2 \cdot b1 = c1$$

$$h_{h2} = \text{Enthalpy}(CH_4; T=T_{ref}) \quad \text{{kJ/Kmol}}$$

$$h_{agua} = \text{Enthalpy}(H_2O; T=T_{ref}) \quad \text{{kJ/Kmol}}$$

$$PCI_2 = h_{agua} - h_{h2} \quad \text{{kJ/Kmol}}$$

$$\rho_{h2} = \text{Density}(H_2; T=T_{ref}; P=100) \quad \text{{kmol/m}^3}$$

$$PCI_{h2} = PCI_2 \cdot \rho_{h2} \cdot 0,239 \quad \text{{kcal/m}^3}$$

Compilando y dándole al botón de calcular, el programa nos lleva a la ventana de resultados donde se nos muestran los siguientes valores de las variables:

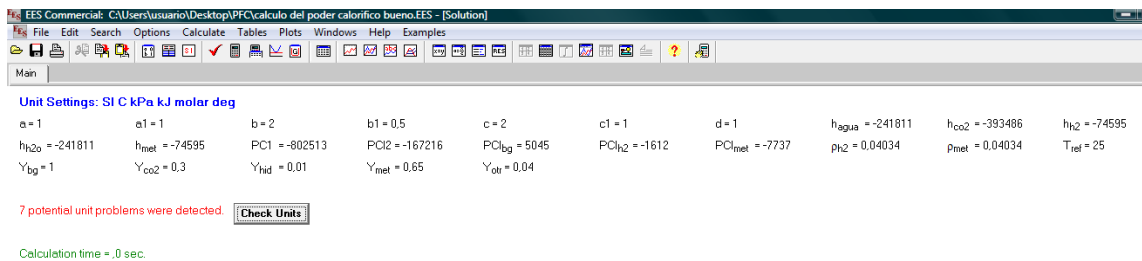


Figura 10 resultados obtenidos para el PCI del biogás

Como se puede observar el valor del PCI del Biogás se obtiene al sumar los productos de los poderes caloríficos del metano y el hidrogeno por sus respectivas concentraciones resultando un valor de:

$$PCI_{bg} = 5045 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^3}$$

Una vez se ha calculado el poder calorífico del biogás para esa concentración, se ha hecho un pequeño estudio mediante dos gráficas y dos tablas de cómo variaría el poder calorífico del biogás si se modifica la concentración de metano. Esto es preciso ya que como en el estudio no se conoce el porcentaje exacto de la composición del biogás sino que ha sido estimada, en caso de que esta cambiara se podría obtener el valor del poder calorífico con simplemente consultar la tabla.

La primera de las tablas se ha hecho dando valores a la variable de concentración de metano se han realizado diez iteraciones, estableciendo 0,4 o 40% de metano el valor inicial, y 0,65 o 65% el valor final. Se ha obtenido una grafica lineal ascendente, es decir, cuanto mayor es la presencia de metano en la composición mayor es el poder calorífico del Biogás. Obviamente ello es debido a que de los componentes que forman el biogás, el metano es aquel que más peso tiene a la hora de calcular el poder calorífico total del biogás.

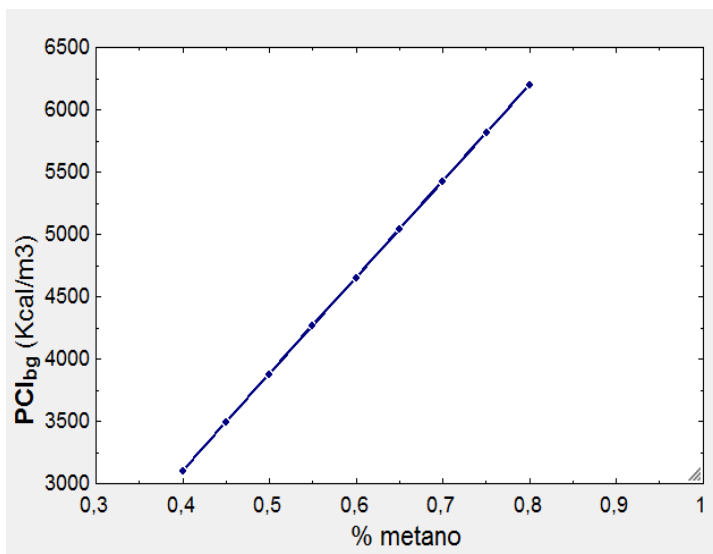


figura 11 PCI-% metano

1..10	1 Y _{met}	2 PCI _{bg}
Run 1	0,4	3111
Run 2	0,45	3498
Run 3	0,5	3885
Run 4	0,55	4272
Run 5	0,6	4658
Run 6	0,65	5045
Run 7	0,7	5432
Run 8	0,75	5819
Run 9	0,8	6206
Run 10	0,85	6593

Figura 12 PCI-% metano

La segunda tabla muestra lo mismo que las anteriores pero en este caso de una manera más detallada, ya que los saltos entre cada una de las iteraciones son menores. Para la realización de ambas tablas ha sido necesario poner la variable (Y_{met}) entre llaves, ya que de esta forma el programa puede modificar su valor asignándole los valores que nosotros hemos introducido en la tabla y devolver los distintos valores que toman el resto de variables que dependen de la primera.

1.23	1 Y _{met}	2 PCI _{bg}
Run 1	0,3	2337
Run 2	0,35	2724
Run 3	0,4	3111
Run 4	0,45	3498
Run 5	0,5	3885
Run 6	0,52	4039
Run 7	0,54	4194
Run 8	0,56	4349
Run 9	0,58	4504
Run 10	0,6	4658
Run 11	0,62	4813
Run 12	0,64	4968
Run 13	0,65	5045
Run 14	0,66	5123
Run 15	0,68	5277
Run 16	0,7	5432
Run 17	0,72	5587
Run 18	0,74	5742
Run 19	0,76	5896
Run 20	0,78	6051
Run 21	0,8	6206
Run 22	0,85	6593
Run 23	0,9	6980

Figura 13 PCI-% metano

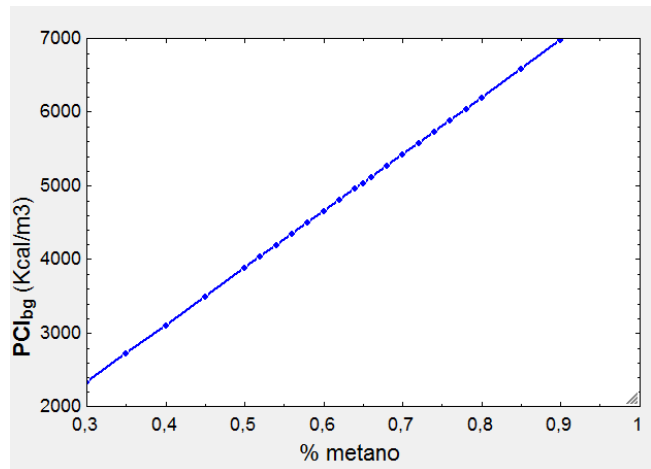


figura 14 PCI-% metano

Anexo 2. Cálculos del estudio Económico

En este anexo se van a plasmar los cálculos realizados para redactar parte del apartado 4 de la memoria, siendo en este caso la parte relacionada con los costes de consumo, el presupuesto y la rentabilidad.

Los cálculos referidos al apartado económico han sido realizados mediante el programa de cálculo Microsoft office Excel, que resulta muy útil para crear presupuestos, tablas y gráficos. En los siguientes apartados se explicaran los cálculos realizados para la obtención de las distintas variables económicas, un resumen de los presupuestos y la obtención de costes energéticos.

1.1 Calculo del Gasto eléctrico y del Ahorro Neto

Para el análisis del consumo eléctrico y el ahorro neto producido es necesario recuperar datos del apartado 3 de la memoria, donde se estimó el consumo energético diario de la estación depuradora (Ct) cifrando este en:

$$Ct = 3278.52 \text{ kW}$$

$$Ca = 1196659.8 \text{ kW}$$

Una vez se tiene lo que se consume de manera diaria o anual, únicamente es necesario multiplicar por el precio de la tarifa eléctrica seleccionada. En nuestro caso se ha seleccionado una tarifa eléctrica media, ya que habrá una serie de horas al día en la que se tendrá que aplicar la tarifa punta, pero también habrá otras horas nocturnas en las que se aplicará la tarifa valle, que es más reducida.

$$Costes_{consumo} = C_a * Coste_{kWh}$$

Por otra parte es necesario calcular cual será el consumo energético con y sin la instalación del digestor, ya que obviamente con la instalación del digestor este consumo aumentara un poco debido a la existencia de mas equipos funcionando. Para realizar el cálculo de la potencia extra consumida en la instalación del digestor se ha desarrollado una tabla en Excel que muestra los distintos equipos con su potencia y su tiempo de funcionamiento aproximado. De esta manera se obtiene un consumo energético extra que sumado al de la estación depuradora nos dará el consumo energético total.

	Potencia kW	tiempo (h)	kWh
bomba agua	0,75	2	1,5
bomba pozo	1,5	2	3
agitadores	9	12	108
bomba circulación	0,8	24	19,2
compresor	6	3	18
TOTAL			149,7

Tabla A2.1 Consumo energético extra de los equipos de digestión

Se consumen 149.7 kWh extras de manera diaria que sumado a la cantidad de consumo anterior resultara un consumo de:

$$C_t = 3428.22 \text{ kWh/dia}$$

$$C_a = 1251300.3 \text{ kWh/año}$$

Con estos datos se han creado una serie de tablas en Excel para poder calcular el coste económico con y sin instalación.

Gasto eléctrico sin digestor	precio (€/kWh)	cantidad (h)	total (€)
energía consumida diaria	0,134615	3278,52	441,34 €
energía consumida anual	0,134615	1196659,8	161.088,36 €

Tabla A2.2 Coste de la electricidad sin digestor

Gasto eléctrico con digestor	precio (€/kWh)	cantidad (h)	total (€)
energía consumida diaria	0,134615	3428,22	461,49 €
energía consumida anual	0,134615	1251300,3	168.443,79 €

Tabla A2.3 Coste de la electricidad con digestor

En la siguiente tabla se muestra el ahorro que produce la instalación de los dos motores:

Ahorro con cogeneración	precio (€/kWh)	cantidad (h)	total (€)
energía ahorrada diaria	0,134615	986,85	132,84 €
energía ahorrada anual	0,134615	360200,25	48.488,36 €

Tabla A2. 4 Ahorro producido por la instalación

Para el cálculo del ahorro neto anual de la instalación es necesario restarle al ahorro anterior (ahorro bruto), la diferencia entre los costes económicos de electricidad con y sin digestor. Esto es debido a que la energía extra que se consume con la instalación es energía que no ahorramos y por ello hay que restarla, resultando un valor de:

Ahorro neto	41.132,93 €
--------------------	--------------------

1.2 Costes de las instalaciones y presupuesto

En este apartado se detallaran una serie de aspecto a tener en cuenta sobre los presupuestos de la instalación que aparecen en el apartado 4 de la memoria. Para llevar a cabo estos presupuestos se ha utilizado una hoja de cálculo en el programa Excel.

Para su realización se ha dividido el coste de la instalación en dos grandes grupos:

- Costes e edificación y de Obra: en estos costes se incluyen todos los materiales y acciones necesarias para llevar a cabo la construcción de la instalación propiamente dicha, es decir, la construcción del depósito de digestión y las cámaras de carga y descarga. Dentro de este bloque existen 4 apartados en los que se calculan de una manera precisa cada uno de los costes:
 - 1.1 *Movimientos de tierras*: se establece el precio del acondicionamiento del terreno a las características propias de la obra. Debido a que el depósito esta semienterrado es necesario realizar excavación tanto para el depósito de digestión, como para las cámaras de carga y descarga.
 - 1.2 *Estructura de los Depósitos*: en este apartado se calculan los precios de levantar la propia estructura de hormigón de las instalaciones. Ya que todas las estructuras serán de hormigón se establece el precio de cada tipo de estructura necesaria así como la cantidad de metros cuadrados de cada una.
 - 1.3 *Elementos constructivos del digestor*: en este punto se calcula el coste de los materiales necesarios para construir el acabado del depósito. Se incluyen los costes del aislante térmico, la chapa que rodea el depósito y la instalación de la tela tensada para balsas de digestión
 - 1.4 *Maquinaria y Herramienta*: en este punto se estima el coste de la maquinaria más importante necesaria para la construcción del depósito.

- Instalaciones y equipos: en este segundo bloque se incluyen los costes de principales equipos necesarios para llevar a cabo el proceso de digestión anaerobia. Los más destacados son los motores de cogeneración y la instalación de calefacción y almacenaje de gas.

Además de todo ello es necesario realizar una distinción entre los distintos tipos de presupuesto. Por un lado se encuentra el PEM y por otro el PEC

- PEM (presupuesto de ejecución material): en este presupuesto se incluye única y exclusivamente el coste de los materiales y acciones o procesos necesarios para construir la instalación. Se incluirían el coste de equipos, maquinaria, material de construcción etc.
- PEC (Presupuesto de ejecución contractual): en este presupuesto se incluyen además de el coste de los materiales y equipos necesarios para hacer la obra, todos los costes asociados a gastos propios de la empresa, administrativos, seguros, tasas, permisos, impuestos, el propio beneficio del proyectista y otra serie de costes añadidos a la instalación que podrían surgir. En este caso se ha considerado un beneficio industrial del 6% y unos costes administrativos del 13%, ambos sobre el total del PEM, y que será necesario sumar al total.

1.3 Análisis de la rentabilidad.

Una vez se han obtenido los costes de consumo que recaen sobre la instalación estudiada se puede estimar su rentabilidad en función de su inversión, del ahorro que supone su instalación. Así pues se va a pasar a indicar los cálculos realizados y las variables estudiadas para obtener la rentabilidad de la instalación, que se muestra en el apartado 4 de la memoria.

En primer lugar se va a realizar una breve explicación de cada una de los parámetros estudiados así de los métodos utilizados para su cálculo. Los principales parámetros son:

- TR (tasa de recuperación): se trata de un parámetro que nos muestra el porcentaje de la inversión inicial que se recupera cada año. Se calcula dividiendo el ahorro neto anual entre el coste de la inversión inicial del proyecto.

$$TR = \frac{An}{CI} * 100$$

- Payback: se trata del periodo en el que se tarda en recuperar la inversión inicial. Es el inverso de la tasa de recuperación, es decir el cociente entre la inversión inicial y en este caso el ahorro neto anual.

$$Payback = \frac{CI}{An}$$

- VAN (Valor actual neto): se trata de un parámetro que nos muestra el valor que tiene el proyecto o la instalación en un determinado momento de tiempo n. Si el VAN es negativo significa que en ese periodo la instalación no es rentable, mientras que si es positivo si que lo será. Esta variable es especialmente importante si existen intereses anuales producidos por créditos, ya que nos permite analizar la inversión a lo largo del tiempo.
- TIR (Tasa Interna de retorno): se trata de otra variable que será importante en el caso de que existan intereses de créditos. Nos muestra la rapidez con la que se recupera la inversión y su valor se puede entender como el máximo interés al que se podría pedir un crédito para que este resultara rentable.

Según muchas empresas los criterios de rentabilidad serian aquellos proyectos o instalaciones que no superaran un payback mayor de 3 años, ni un TIR menor al 20%. Aunque estos criterios son muy flexibles y dependen de las situaciones concretas de cada proyecto.

A continuación se mostraran los cálculos que han sido realizados en las hojas de cálculo Excel para la obtención de estas variables.

VAN	104.948,31 €
Payback	7,448557397
TR	13,43%
TIR	5,75%

Tabla A2.5 Valores de los Parámetros económicos

Para el cálculo del VAN es necesario llevar a cabo un diagrama de flujos, que no es más que un análisis durante un periodo de tiempo que en este caso va a ser de diez años de los costes iniciales y los ahorros netos anuales.

año	flujo (€)	VAN (€)
0	-306380,99	-306380,99
1	41132,93	-265248,06
2	41132,93	-224115,13
3	41132,93	-182982,2
4	41132,93	-141849,27
5	41132,93	-100716,34
6	41132,93	-59583,41
7	41132,93	-18450,48
8	41132,93	22682,45
9	41132,93	63815,38
10	41132,93	104948,31

Tabla A2.6 Diagrama de flujos durante 10 años

Por último se ha realizado una tabla para observar la evolución temporal del VAN a lo largo de los diez años para lo que ha sido calculado. De este grafico se puede extraer claramente el periodo de Payback ya que se puede observar que en el tramo que va de los 7 a los 8 años el VAN pasa de ser negativo a positivo.

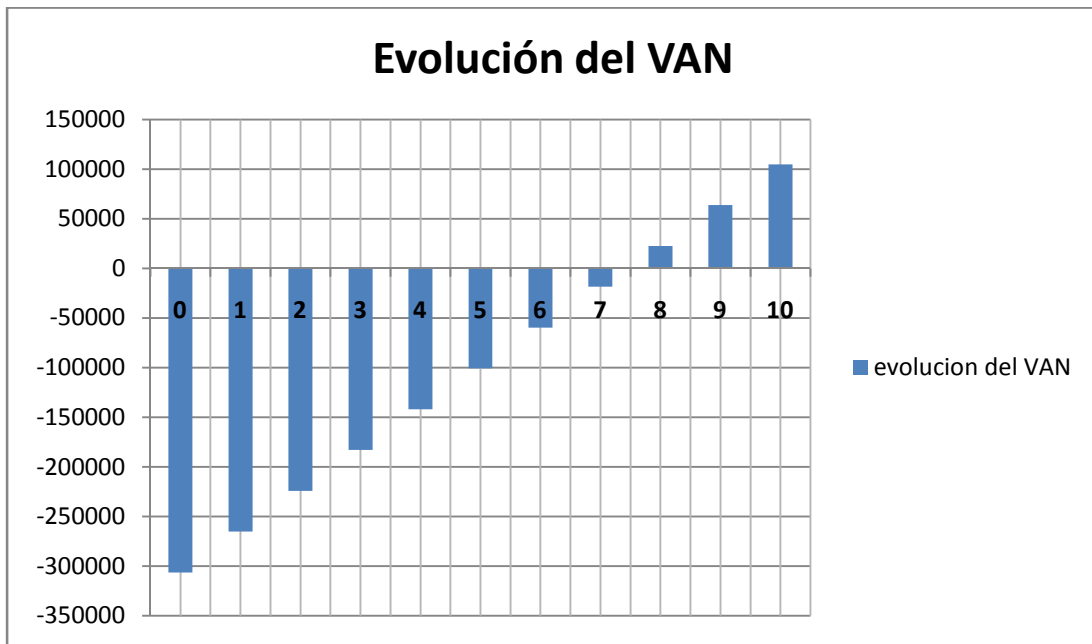


Gráfico A2.1 Evolución temporal del VAN a lo largo de diez años

Para concluir se ha hecho una tabla de cómo variaría la rentabilidad de la instalación en caso de que la tarifa de la luz cambiara. Actualmente se ha seleccionado una tarifa de un valor medio de 0.134615€/kWh , pero como es posible que esta varié a lo largo de la vida útil del proyecto se ha analizado la rentabilidad de la instalación con una tarifa eléctrica más favorable considerando esta tarifa igual a la que existe actualmente en horas punta, con un valor de 0.170122€/kWh . Obviamente que aumente el valor de la electricidad reducirá el payback de la instalación, ya que aunque el gasto de electricidad en euros se mayor, también lo será el ahorro neto anual. Se puede observar mediante el siguiente grafico:

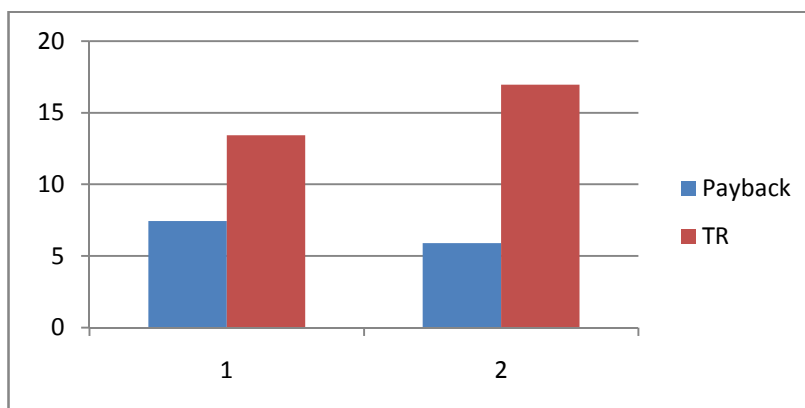


Gráfico A2.2 variación de los Parámetros con las diferentes tarifas

Como ya se ha dicho en el gráfico se pueden observar dos tipos de tarifas, la número 1 es la tarifa media y para la que se ha calculado la instalación, mientras que la número dos es la tarifa en horas punta que utilizamos como tarifa favorable. Se puede observar que con la segunda tarifa el payback disminuye y la tasa de retorno aumenta, ya que para el mismo coste de inversión inicial el ahorro neto en euros con la tarifa desfavorable es mayor. De la misma manera se puede analizar mediante el comportamiento del VAN a 10 años:

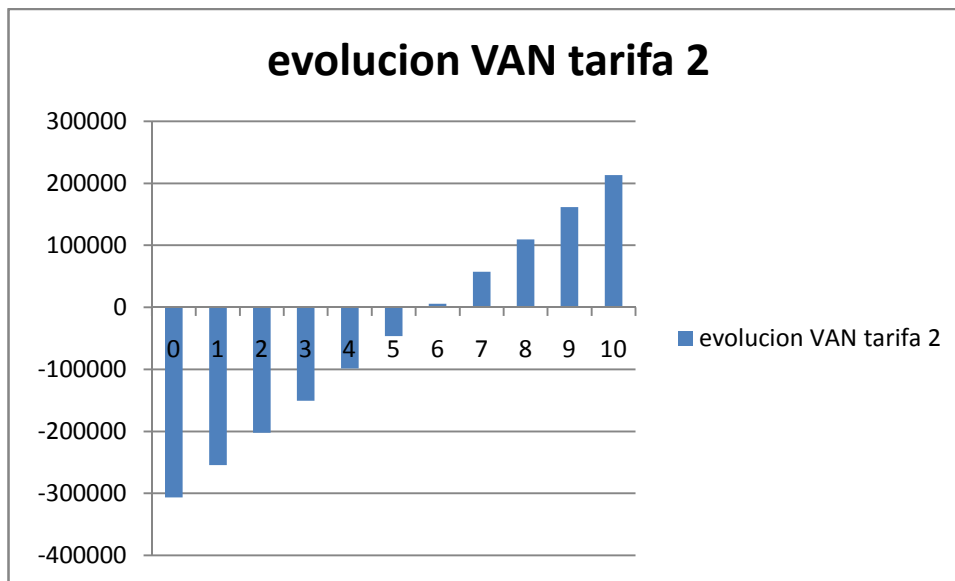


Gráfico A2.2 Evolución temporal del VAN a lo largo de diez años Tarifa 2

Como se puede comprobar el payback se reduce hasta los 5.89 años con la tarifa eléctrica dos y la tasa de retorno se incrementa hasta el 16%.

VAN	213.443,41 €
Payback	5,893932451
TR	16,97 %
TIR	10,98%

Tabla A2.7 Parámetros económicos con la tarifa 2