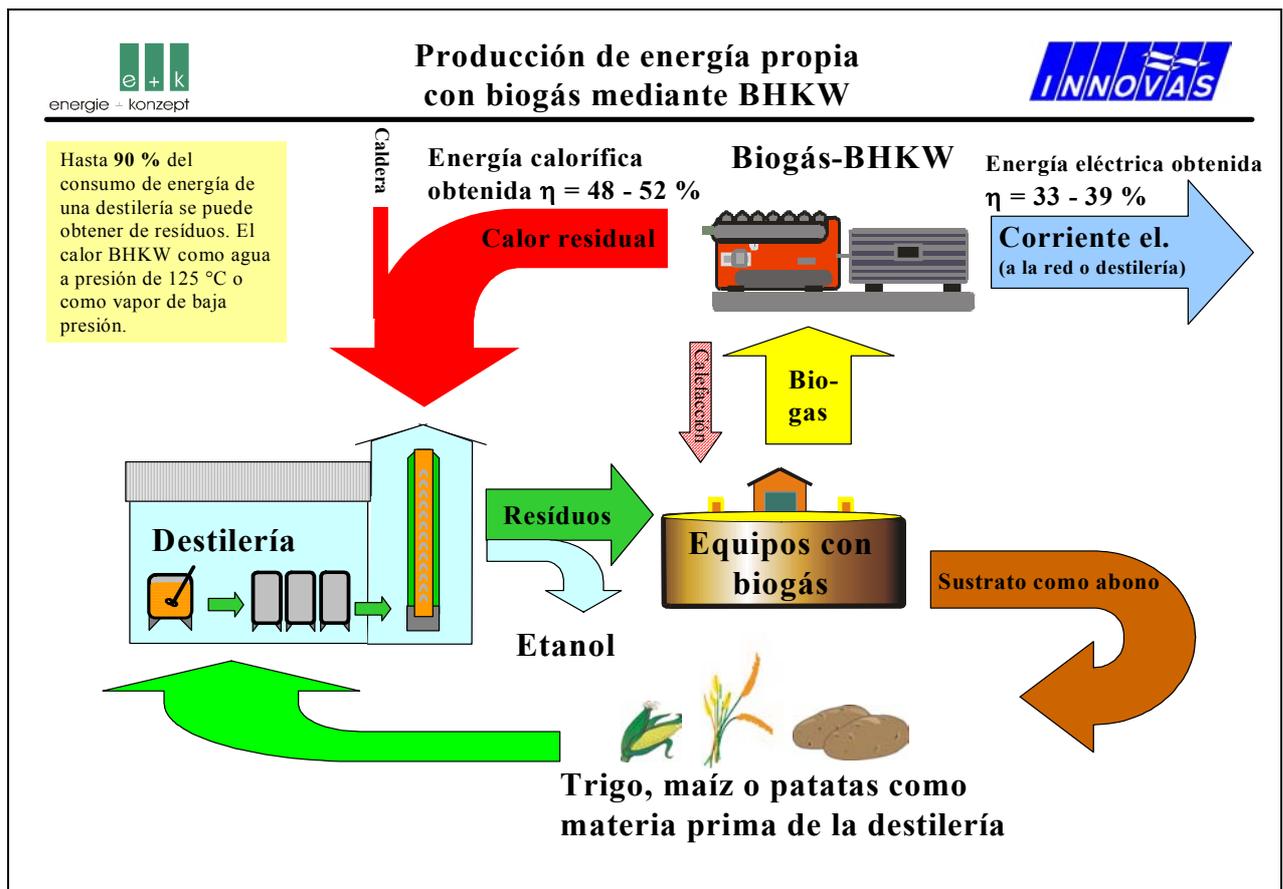


## Biogás en destilerías

### Introducción

Durante muchos años se han utilizado con éxito equipos para la producción de biogás en las destilerías. Estos equipos técnicamente sofisticados están diseñados para trabajar con residuos de destilerías y también funcionan perfectamente con residuos como monosustrato. La fermentación anaeróbica es un proceso natural y los microorganismos que participan en él son unos de los seres vivos más antiguos de la tierra. Aunque nosotros no podemos cambiar estos procesos, podemos influir positivamente sobre ellos. Si respetamos las leyes naturales podremos conseguir un mecanismo altamente efectivo y funcional.

La producción de energía a partir de residuos es una alternativa interesante por su posible aprovechamiento en la fabricación de alimentos animales, sobre todo cuando el mercado de estos alimentos ya no resulta lo suficientemente beneficioso.



Representación del principio de suministros de energía propia en la destilería

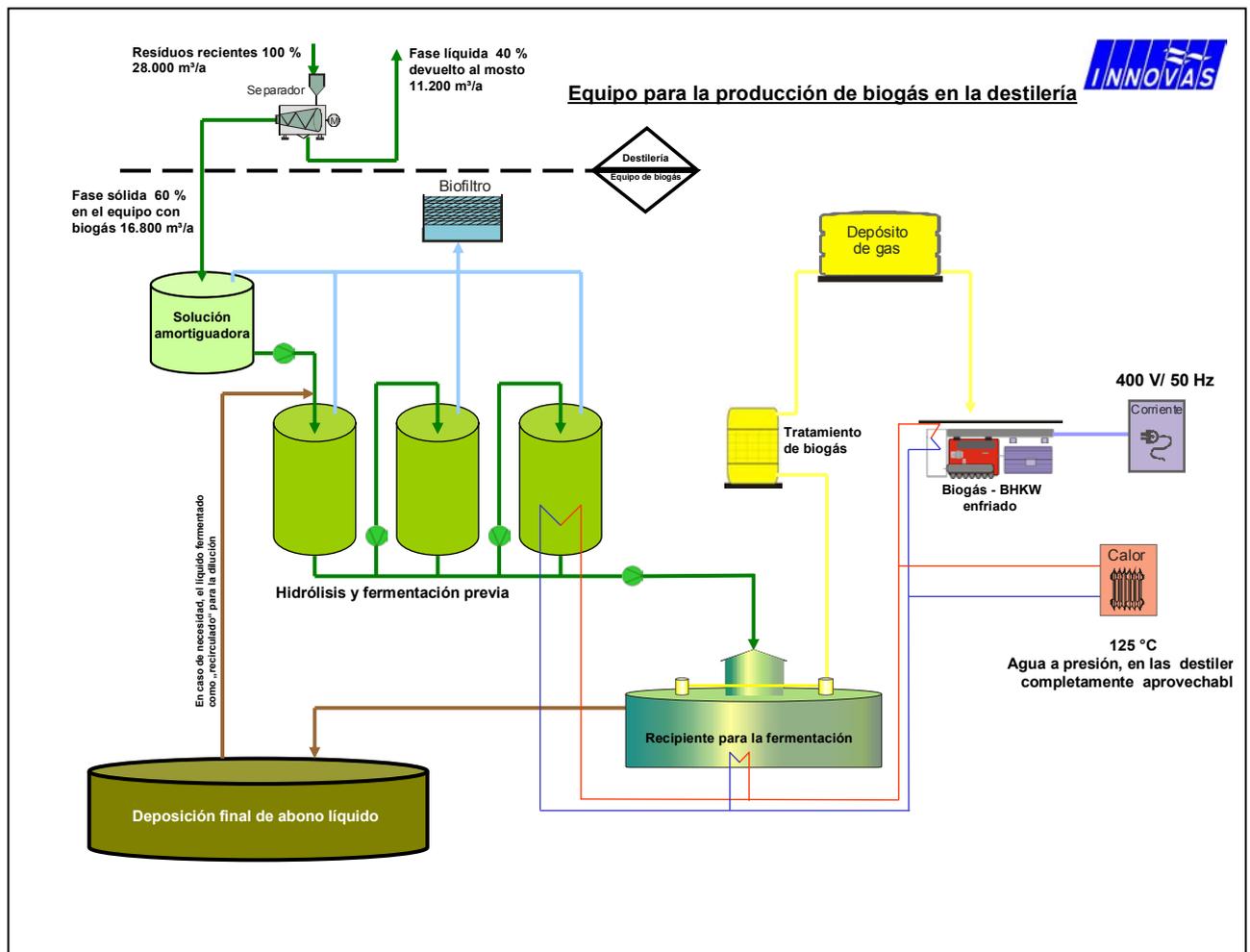
Sobre todo gracias a la nueva ley que promueve el uso de energías renovables (EEG) y a las numerosas ventajas que encierran, el interés por la producción regenerativa de energía a partir de residuos se ha incrementado considerablemente. Gracias a las nuevas normas EEG se ha mejorado más todavía el rendimiento económico de los equipos para la producción de biogás en las destilerías.

Por ello y también porque la industria de destilería está en transformación, hemos elaborado un nuevo concepto de equipos que, como parte indispensable, asegurarán la capacidad de las destilerías de producir bioetanol a precios de mercado.

## El concepto de los equipos

Nuestro concepto se basa en el hecho que aproximadamente unas 50 y 60 destilerías en Alemania por su tamaño de explotación son capaces de tratar aproximadamente  $6 \text{ m}^3$  de mosto por hora. Además, se ha tenido en cuenta que estas destilerías trabajan en dos turnos, 6 días a la semana y 50 semanas al año. El concepto de las destilerías amplificadas fue publicado y presentado detalladamente por varios expertos, uno de ellos sería el Dr. Senn de la Universidad Hohenheim, por lo que no hará falta dar más explicaciones. Tan sólo expondremos en pocas palabras los datos importantes sobre la producción del biogás.

Durante los 300 días laborables se producen como mínimo 28.000 hl de alcohol crudo al año. Al mismo tiempo se generan alrededor de 28.00 t/a de residuos. Estos residuos se separan y cerca del 40% de ellos serán devueltos al mosto. Para el equipo de producción de biogás quedan aproximadamente 16.800 t/a por un 11 % TS de residuos condensados.



Esquema básico de la producción de biogás a partir de residuos

## El potenciador energético

Para calcular la cantidad de biogás posible generable nos basamos en que en el futuro se van a fermentar principalmente desechos de maíz, sobre todo en Bavaria. El equipo funcionará por supuesto perfectamente también con desechos de trigo y patatas, con lo que la cantidad del biogás producido real variará de acuerdo con el tipo de trigo y la consistencia de los desechos.

Con el objetivo de aclarar estas relaciones nos gustaría primero especificar un poco la teoría de la producción de biogás:

En la producción de biogás se utilizan aquellos grupos de sustancias que contienen grasas, proteínas e hidratos de carbono. Sin embargo, la lignina no se descompone de manera anaerobia y por eso no es posible obtener el biogás a partir de fibra cruda con una envoltura de lignina estable.

La formación del gas y la cantidad de CH<sub>4</sub> (la calidad del gas) así mismo dependen de la composición del material. Si se conoce la composición es posible calcular según la fórmula matemática de Buswell la cantidad de biogás resultante y su contenido de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub>. Para simplificar hemos resumido la posible formación de gas y metano en la siguiente tabla:

Composición/materia base	cálculo estequiométrico de la producción de biogás (litro de biogás/kg OTS)	contenido aproximado de metano en el biogás (%)
Grasas	1.400 l/kg (1,4 m <sup>3</sup> /kg)	80 .. 90 %
Proteínas	600 .. 900 l/kg (0,6 .. 0,9 m <sup>3</sup> /kg)	75 .. 80 %
Hidratos de carbono	700 .. 800 l/kg (0,7 .. 0,8 m <sup>3</sup> /kg)	50 .. 60 %

Tabla 1 – Producción del biogás de las sustancias orgánicas suministradas

En cuanto a los residuos, mediante estos datos y la composición conocida es posible establecer la cantidad de biogás y de la energía resultante aproximada.

Para que la comparación sea neutral hemos utilizado la composición de los tipos de residuos indicados en la siguiente „Tabla de los valores alimenticios DLG“.

Para que los diferentes tipos de residuos sean comparables hemos establecido el contenido de TS como valor único de 7,0 %, aunque puede que varíe entre 5,5 y 12 % dependiendo del método de destilación utilizado.

Tipo de residual	TS/OTS (%)	Grasa cruda (g/kg TS)	Proteínas (g/kg TS)	Hidratos de carbono (g/kg TS)	Fibra cruda (g/kg TS)	Medida específica de formación del gas (m <sup>3</sup> /kg OTS)	Biogás por 1 m <sup>3</sup> de residuos (m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> )
Desechos de patatas	7,0 / 85 %	17 g	285 g	451 g	106 g	0,60 m <sup>3</sup> /kg	36 m <sup>3</sup>
Trigo	7,0 / 88 %	67 g	362 g	416 g	97 g	0,65 m <sup>3</sup> /kg	38 m <sup>3</sup>
Centeno	7,0 / 88 %	54 g	431 g	406 g	56 g	0,68 m <sup>3</sup> /kg	40 m <sup>3</sup>
Maíz	7,0 / 94 %	82 g	297 g	466 g	104 g	0,70 m <sup>3</sup> /kg	45 m <sup>3</sup>

Tabla 2 – Beneficios típicos del biogás a partir de residuos

Estos beneficios tan sólo se podrán obtener utilizando equipos para la producción de biogás de dos fases de alto rendimiento, cuyas etapas de funcionamiento sean cuidadosamente coordinadas. Equipos para la producción de biogás sencillos, de una fase, aplicados en agricultura con técnicas mezcladoras y de deposición comunes, nunca podrán alcanzar tales grados de descomposición y producción de biogás a partir de residuos.

Ahora vamos a proseguir con nuestro ejemplo de cálculo para una destilería con capacidad de 28.000 hl.

Cantidad de residuos supuesta (cantidad separada)	16.800 t/a 48 t/d
(Advertencia: a diferencia de una destilería, el equipo con biogás está alimentado uniformemente. La cantidad de residuos se divide en 7 días laborables que suponen 350 días de servicio al año.)	
Composición de residuos supuesta	11 % TS, de ello 89,5 % OTS ca. 4.885 kg OTS/d
Capacidad del depósito para la fermentación	1.700 m <sup>3</sup>
Ocupación del espacio en el depósito de fermentación	2,92 kg OTS / m <sup>3</sup> x d
Medida específica de formación del gas (con reserva de seguridad)	600 Liter Biogas / kg OTS
Biogás generable	ca. 2.950 m <sup>3</sup> /d ca. 1.032.500 m <sup>3</sup> /a
Calidad del biogás	> 70 % CH <sub>4</sub>
Cantidad de energía primaria en el biogás	ca. 20.500 kWh <sub>prim.</sub> /d ca. 7.190.000 kWh <sub>prim.</sub> /a

### **Beneficios energéticos**

Gracias a la reforma de la ley de promoción de las energías renovables, también para las destilerías se pueden obtener tarifas muy ventajosas por el consumo de energía.

Además de las tarifas básicas graduadas, se cuenta con un bono adicional por agricultura energética y por materias primas renovables. Los residuos de las destilerías agrícolas se consideran según EEG como materias primas renovables (NaWaRo).

La tarifa por energía eléctrica según la nueva EEG	11,5 ct.€/kWh hasta 150 kW 9,9 ct.€/kWh desde 150 kW 10,6 ct.€/kWh precio compuesto
más el bono por materias primas renovables	6,0 ct.€/kWh
más el bono por agricultura energética	2,0 ct.€/kWh
(las destilerías en particular cumplen los requisitos para conseguir el bono por agricultura energética, ya que el equipo para la producción de biogás prácticamente no necesita prácticamente aporte de calor. Los residuos están disponibles ya calientes.)	
La tarifa total estimada por el consumo de energía	18,6 ct.€/kWh

La tarifa arriba mencionada se refiere al primer año tras la entrada de la ley de promoción de las energías renovables (EEG) en vigor. En aquellos equipos que se pongan en marcha más adelante, los costes por el consumo de energía se reducirán un 1,5 %.

Para que las destilerías puedan aprovechar también el calor residual BHKW, se utilizará el llamado BHKW refrigerado. En estos agregados está disponible el calor en forma de agua a presión de 125°C.

Gracias al rendimiento anual de 8.000 horas de servicio es posible explotar BHKW con 330 kW.

potencia eléctrica BHKW	330 kW
eficiencia $\eta_{\text{elektr.}}$	36 %
corriente generable	ca. 7.380 kWh <sub>elektr./d</sub> ca. 2.583.000 kWh <sub>elektr./a</sub>

### **Los ingresos posibles de la venta de energía eléctrica (aprovechando todos los bonos)**

**ca. 480.000 €/a**

potencia térmica BHKW	470 kW
eficiencia $\eta_{\text{therm.}}$	52 %
energía térmica generable	ca. 10.660 kWh <sub>therm./d</sub> ca. 3.731.000 kWh <sub>therm./a</sub>

Valor total de energía térmica generable  
(con el precio del aceite combustible 0,35 €/l) ca. 130.500 €/a

Aunque la destilería trabaje en dos jornadas  
tan sólo se puede sacar provecho cerca de 60 %, valor ca. 78.000 €/a

Valor teórico de la energía térmica no aprovechada ca. 52.000 €/a  
(Además se pierde una parte importante del bono por la agricultura energética!)

Por eso es importante tomar en consideración un servicio de la destilería de 24 horas al día y 350 días anuales. Existe la posibilidad de almacenar el biogás durante 10 horas, pero para ello se necesita un espacio mayor y un aumento de los costes de inversión.

### **Consumo de energía propia, gastos de servicio**

El consumo de energía propia de los equipos para la producción de biogás a partir de residuos es relativamente bajo.

Consumo de energía propia de los equipos con biogás calculado con la cantidad de 10 ct.€/kWh,	ca. 200.000 kWh <sub>elektr./a</sub> ca. 20.000 €/a
--	--

El consumo de energía térmica será despreciable, ya que la temperatura de los residuos suministrados es de entre 40 y 50 °C.

El número de personas para el servicio de equipos de producción de biogás es mínimo gracias al nivel de automatización. Sin embargo, hay que contar con unas 2 horas diarias para la supervisión y mantenimiento del equipo. Estas tareas de revisión las realiza el personal de la destilería.

costes salariales proporcionales 700 h/a, à 20,- €/h	ca. 14.000 €/a
gastos de mantenimiento y reservas para reparaciones	ca. 50.000 €/a
recursos de servicio diversos, analítica, etc.	ca. 5.000 €/a

A esto se añadirán los costes del capital de recursos ajenos y especificaciones técnicas del equipo. Los gastos de preparación de residuos y de transporte de desechos de la fermentación no están incluidos, ya que estos gastos son parte de la producción de la materia prima para la destilería.

### **El uso de desechos de la fermentación**

Los desechos de fermentación de los equipos para la producción de biogás los utilizan las empresas de suministro de materias primas como abono líquido de gran calidad.

como abono están luego otra vez disponibles con unos ca. 15.300 t/a  
2 % TS

Intencionadamente no se menciona aquí la evaluación de las sustancias contenidas en el abono (el valor del abono), puesto que según este concepto se deberían devolver los desechos de fermentación a los mismos campos de los que se había recogido la materia prima y de los que se habían sacado estas sustancias nutritivas.

### **Los gastos de inversión**

Si los equipos para la producción de biogás están diseñados y construidos como equipos individuales, probablemente habrá los siguientes gastos de inversión:

Tratamiento de residuos, hidrólisis, etc.	ca.	284.000 €
Depósito para la fermentación de 1.700 m <sup>3</sup>	ca.	193.000 €
Tratamiento del biogás, deposición, etc.	ca.	173.000 €
Transporte del sustrato, deposición final para 130 días	ca.	132.000 €
Biofiltro	ca.	21.000 €
Técnica de control, electricidad	ca.	50.000 €
BHKW, con la corriente eléctrica y alimentador térmico incluidos	ca.	250.000 €
Edificios de servicio y protección (construcciones sencillas)	ca.	125.000 €
Montaje principal, puesta en marcha, etc.	ca.	29.000 €
Gastos de construcción secundarios, expensas imprevistas	ca.	86.000 €
<u>Gastos de planificación</u>	ca.	<u>132.000 €</u>

Inversión total para el equipo con biogás (planificación individual) ca. 1.475.000 €

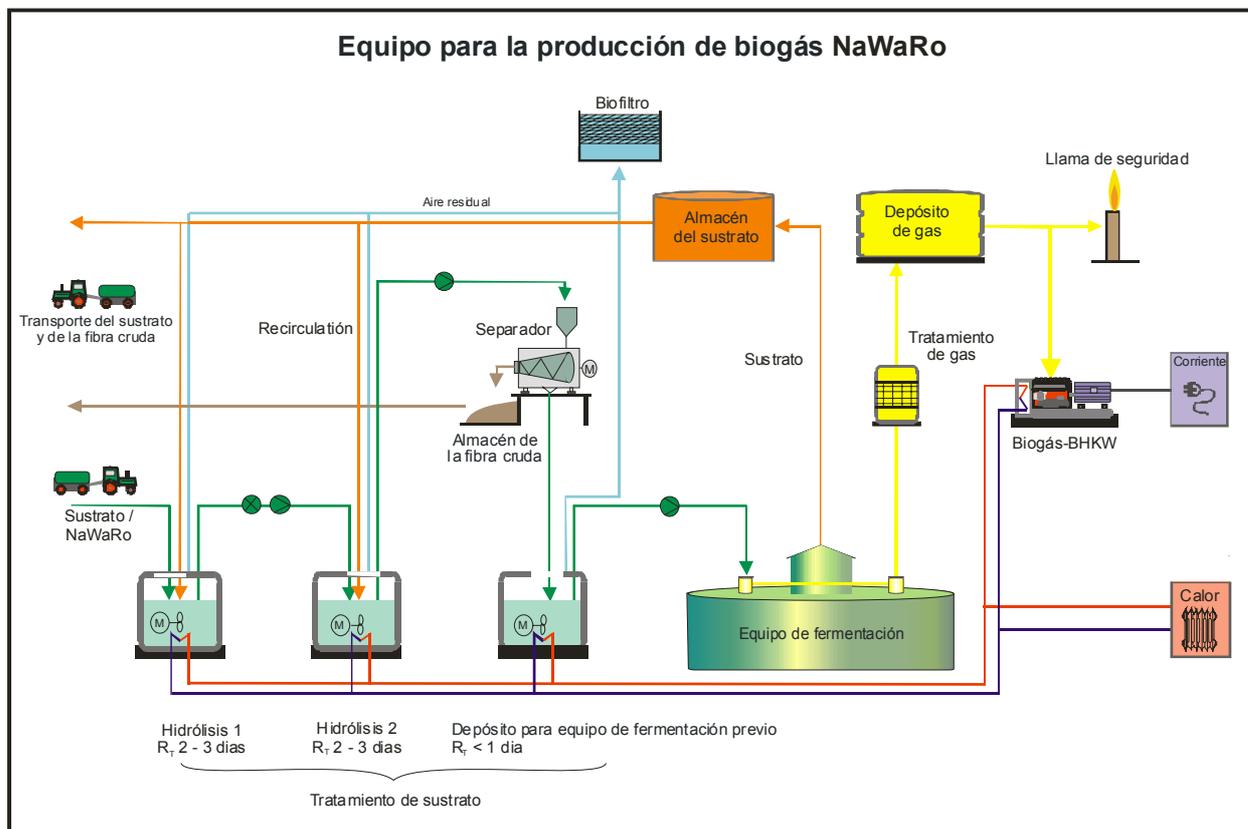
Si se construyen más equipos para la producción de biogás (p.e. unos 30) del mismo diseño en un período de tiempo corto, los gastos de inversión podrían disminuir hasta 15% gracias a efectos de racionalización. Para ello hay que tener en cuenta que al realizar el proyecto es necesario asegurar una organización y gestión eficaces.

Con el objetivo de simplificar suponemos en nuestro concepto con una reducción de gastos global de 10 % y redondeamos la suma total en 1.000 € para arriba o para abajo.

Tratamiento de residuos, hidrólisis, etc.	ca.	256.000 €
Depósito para la fermentación de 1.700 m³	ca.	173.000 €
Tratamiento del biogás, deposición, etc.	ca.	156.000 €
Transporte del sustrato, deposición final para 130 días	ca.	119.000 €
Biofiltro	ca.	18.000 €
Técnica de control, electricidad	ca.	45.000 €
BHKW, con la corriente eléctrica y alimentador térmico incluidos	ca.	225.000 €
Recintos de servicio y edificios de protección (construcciones sencillas)	ca.	113.000 €
Montaje principal, puesta en marcha, etc.	ca.	26.000 €
Gastos de construcción secundarios, expensas imprevistas	ca.	74.000 €
Gastos de planificación para 30 equipos estándar	ca.	8.000 €
Atención individual durante la realización de la obra y la gestión del proyecto	ca.	35.000 €
<b>Inversión total para equipos con biogás estándar</b>	<b>ca.</b>	<b>1.248.000 €</b>

### Comparación con la fermentación de ensilado de maíz

Es interesante la comparación con un equipo para la producción de biogás del mismo tamaño que se utiliza, por ejemplo, con ensilado de maíz.



Esquema básico de la producción de biogás a partir de residuos

El criterio para el dimensionado es la carga del espacio máxima de 3,0 kgOTS/m<sup>3</sup>\*d, eventualmente 4.900 kg de sustancia orgánica (OTS) al día.

Para producir aproximadamente 1.032.500 m<sup>3</sup> de biogás se necesitan entre 5.500 y 5.700 toneladas de ensilado de maíz (al final de la madurez ccrea, unos 35 % TS).

Partiendo de las ganancias promedias de 50 t/ha, se necesitan al menos 110 h de campo de sembrado.

La calidad del biogás de ensilado de maíz será algo peor que la del biogás de desechos de maíz. Se puede contar con un contenido de metano de unos 65 % CH<sub>4</sub>.

De allí la cantidad de energía primaria en el biogás

	ca. 19.175 kWh <sub>prim./d</sub>
	ca. 6.711.250 kWh <sub>prim./a</sub>

Con el mismo BHKW y el mismo grado de eficiencia es posible producir

	ca. 6.900 kWh <sub>elektr./d</sub>
	ca. 2.415.000 kWh <sub>elektr./a</sub>

**Una posible venta de corriente eléctrica obtenida del ensilado de maíz ca. 400.890 €/a**  
(Tarifa básica 10,6 ct.€/kWh, +6,0 ct.€/kWh de bono por las materias primas renovables, sin bono por agricultura energética unida)

En el caso de un equipo para la producción de biogás de materias primas renovables individual, hay que tomar en consideración gastos de servicio mayores en comparación con equipos para residuos.

Los gastos de inversión aumentarán entre unos 80.000 y 150.000 € debido al procedimiento de mantenimiento adicional y el silo portátil.

El consumo de energía propia es mayor debido a los arreglos necesarios

ca. 300.000 kWh <sub>elektr./a</sub>	
contando con la cantidad de 10 ct.€/kWh	ca. 30.000 €/a

En cuanto al consumo calorífico, hay que contar al menos con el 20 % del calor generable. Sin embargo, en nuestro modelo no contamos con el uso de calor adicional.

El número de personal que opera los equipos para la producción de biogás de materias primas renovables es bastante mayor que en los equipos para la producción de biogás en las destilerías. Cada día tiene que contar con 4 horas de carga, tratamientos del sustrato, supervisión, etc. Para desempeñar estas tareas es necesario contratar otro personal.

costes salariales proporcionales 1.400 h/a, à 20,- €/h

	ca. 28.000 €/a
--	----------------

gastos de mantenimiento, reservas para reparaciones, recursos de servicio, analítica (como los equipos de destilerías)

	ca. 55.000 €/a
--	----------------

Además, el cálculo tiene que incluir entre otros también el tratamiento de la materia prima. Partiendo de los costes de producción de 20 €/t, los costes de materias primas serán

	ca. 110.000 €/a
--	-----------------

## Resumen

Si comparamos el rendimiento económico de un equipo para la producción de biogás de materias primas renovables con uno para residuos de las destilerías, vemos que los valores del equipo de las destilerías son 4 hasta 5 veces mayores que los de un equipo sencillo para las materias primas renovables (NaWaRo).

Además, con los altos ingresos de la venta de energía eléctrica es posible compensar los bajos ingresos de la venta de alcohol crudo, sólo entonces la destilería pasa a ser viable.

El equipo para la producción de biogás en combinación con una destilería incluso como con un equipo individualmente planificado, en su conjunto logra una aportación positiva para cubrir los gastos de servicio.

Gracias a la mejora de las tarifas del suministro de energías, el período de recuperación de la inversión es ahora menor de 4 ó 5 años.

Además de unas tarifas mejores, los equipos con materias primas renovables llegan a una cierta eficiencia económica también cuando es posible aprovechar razonablemente el calor que se genera al producir la energía eléctrica. Otra cuestión es la optimización de la obtención de materias primas y la logística directiva.