
GASIFICACIÓN Y BIOMASA:

“UNA SIMBIOSIS DE FUTURO”

“La naturaleza nos habla, pero nosotros no sabemos escucharla”

Edgar Alan Poe

Diego Oñate Arresti

www.diegoonate.es

Febrero 2006

ÍNDICE

1. Introducción.....	3
2. Principios de la tecnología de gasificación.....	6
3. Objetivo del proyecto.....	10
4. Evaluación económica.....	14
5. Conclusiones.....	23

1. INTRODUCCIÓN

Cada vez estamos más concienciados de la necesidad de explotar energías renovables, tenemos la certeza de que las fuentes energéticas clásicas derivadas de materias fósiles (petróleo, carbón, gas natural) son cada vez más una utopía y nos damos cuenta de que nuestro mundo que gira alrededor de las mismas se nos viene poco a poco abajo.

Las energías renovables (sol, viento, agua, mareas) están muy bien vistas por la sociedad y cada vez más reciben impulsos económicos y sociales para lograr una mayor eficiencia y extensibilidad.

Aún así hay otra energía verde más, bien conocida por el público en general y que está disponible en todas partes: la **biomasa**.

Por biomasa entendemos aquella materia orgánica biológica que una vez completado el ciclo biológico para el cual ha sido plantada y cultivada deja de ser útil y debe eliminarse, por ejemplo la **materia de poda**.

Esta biomasa de poda es una energía renovable ya que aunque en el peor de los casos se queme como rastrojo, produciendo dióxido de carbono y vapor de agua, esos componentes desechados a la atmósfera serán los mismos que la planta habrá fijado del dióxido de carbono y humedad ambiental por medio de la fotosíntesis (con ayuda de la luz solar) para haber producido esa materia viva, por lo que esa quema no contribuye al efecto invernadero, ya que es un ciclo energético cerrado (Ciclo del carbono). En el fondo, si queremos, es una forma sutil de aprovechamiento de la energía solar.

Como ejemplo, voy a exponer un caso cercano, aunque toda la discusión posterior es válida para cualquier biomasa de origen vegetal. En La Rioja y especialmente en la zona de Haro, existe una biomasa denostada y abundante en cualquier lugar del campo donde miremos que generalmente se deja olvidada en montones ó en el mejor de los casos termina en un asador como combustible de parrilla en el asado de carnes, me refiero a los **sarmientos**.

Según datos del Consejo Regulador existe una superficie de viñedo plantado en 2004, en la denominación de origen Rioja, de 58.000 hectáreas:
(http://www.riojawine.com/informes/viticultura/espanol/evolhect_es.PDF).

Aproximadamente, cada hectárea de viñedo genera al año 2 toneladas de sarmientos secos al año en podas, (http://www.infoagro.com/hortalizas/residuos_agricolas.htm).

Luego disponemos de 116.000 toneladas al año de sarmientos secos de nulo valor económico. Estos sarmientos secos tienen un poder calorífico de 17.765 KJ/Kg, luego en total existe una reserva energética de 555.555.555 KWh ó lo que es lo mismo 0,5 Megatones, el equivalente a 500 toneladas de TNT al explotar, (la bomba nuclear de Hiroshima fue equivalente a 15 toneladas de TNT). Disponemos de una bomba energética en potencia, desperdigada por nuestros campos, que es necesario aprovechar.

Ese flujo energético puede canalizarse de múltiples formas. La más elemental es su aprovechamiento térmico, por combustión completa de los sarmientos; desde lo más simple, un quemador atmosférico de sólidos en parrilla móvil con recuperación de calor en ciclo de vapor, hasta lo más elaborado y eficiente, un combustor de lecho de partículas sólidas circulantes, en el que nuevamente será necesario incorporar un turbinado de vapor para extraer el calor liberado en la combustión. De cualquier modo, estamos hablando de la inclusión de ciclos de vapor con la inversión millonaria en inmovilizado técnico y en recursos humanos de operación necesarios.

Pero si retrocedemos en la historia, a tiempos de la Segunda Guerra Mundial, observaremos como en la ocupada Dinamarca durante las fuertes restricciones del suministro de petróleo, el 95% de los automóviles (tractores, coches, camiones, barcos, etc.) funcionaban gracias a los **gasógenos**, que empleaban madera ó carbón como combustible de **gasificación**, para generar un gas combustible que se quemaba limpiamente en un motor de gasolina estándar para producir energía mecánica:

Figura 1.1 – Gasógeno incorporado a un tractor. Combustible: corteza de pino, residuo de aserradero

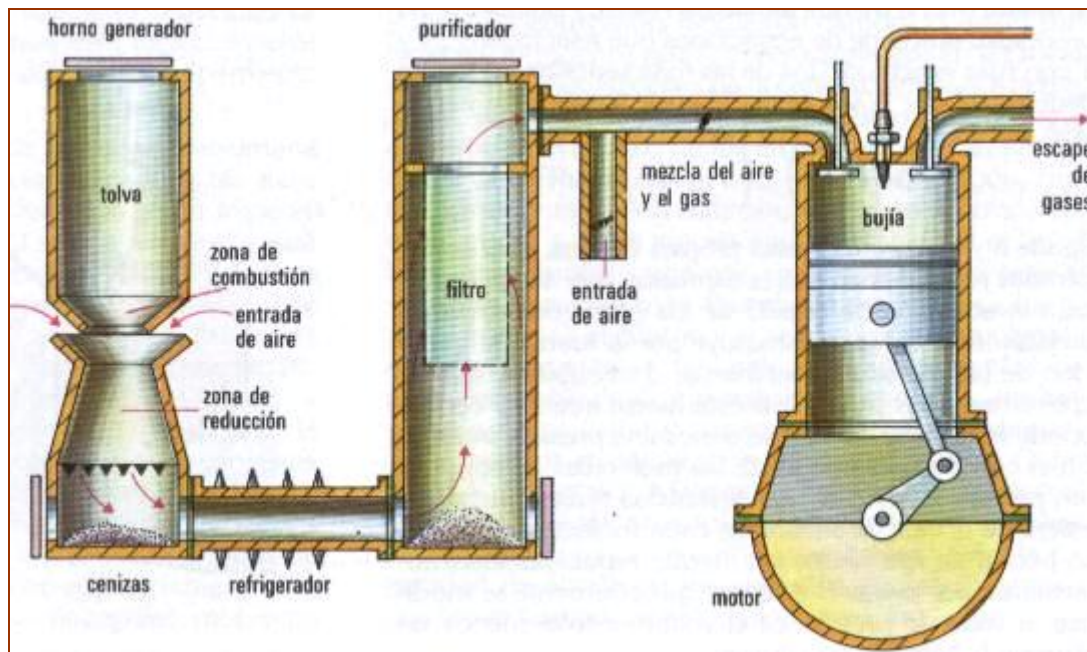


Esta vieja tecnología fue también empleada en Sudáfrica durante el Apartheid como procedimiento de elaboración de hidrocarburos a partir de carbón mediante el

Proceso *Fischer-Tropsch*, donde el gas obtenido por gasificación a alta temperatura y presión y en contacto con catalizadores metálicos formaba hidrocarburos alifáticos (gasolina y gasóleo).

El esquema de un gasógeno de los años 40 se muestra a continuación:

Figura 1.2 – Esquema de un gasógeno de automoción



2. PRINCIPIOS DE LA TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN

Las partes fundamentales constitutivas en cualquier proceso de gasificación son tres:

1- Gasificación del sólido

En el interior de un reactor u horno, se introduce por la parte superior el sólido. Por la parte superior ó intermedia se introduce aire (por la aspiración del motor de explosión) en una proporción muy inferior (aproximadamente el 20%) del necesario para su completa combustión. El resultado es que el sólido se quema parcialmente sin llama, es decir genera un gas combustible, quedando como residuo final las cenizas ó sales minerales no combustibles del sólido que caen por una parrilla a un cenicero.

2- Depuración del gas

El gas caliente obtenido (aproximadamente 600 C) debe **refrigerarse**, ya que sino tendría tan baja densidad, que entraría muy poca masa al motor de explosión, produciendo muy poca potencia mecánica, y también debe **filtrarse** para eliminar las cenizas volantes y alquitranes condensados que son arrastradas por el gas y que podrían provocar erosiones y ensuciamiento en los cilindros del motor de explosión.

3- Combustión del gas

En un motor de explosión de gasolina, regulada convenientemente la carburación ó relación volumétrica aire: gas, con aproximadamente una relación 1: 1; frente a la relación 10000: 1 operando con gasolina, de mucho mayor poder calorífico que el gas. Ó bien utilizando un motor de gas específico que opere bajo un ciclo Otto.

Amplíemos un poco el concepto de gasificación para comprender mejor el tipo de tecnología con el que estamos tratando.

“La gasificación se define como la conversión termoquímica de un sólido combustible en un gas portador de energía por medio de una oxidación parcial a elevada temperatura”.

Este proceso tiene un número de etapas elementales, según el sólido va descendiendo en el reactor por acción de la gravedad y de la succión del motor de explosión.

1- Calentamiento del sólido y secado del mismo.

2- Pirólisis. Este proceso de pirólisis ocurre entre 150 y 400 C y produce la formación de un residuo sólido carbonoso llamado "char" y productos gaseosos. Los componentes más importantes de la fase gaseosa son H₂O, CO₂, H₂, hidrocarburos y otros compuestos en menor cuantía (ácidos orgánicos). La fracción de hidrocarburos está compuesta de metano y compuestos orgánicos condensables denominados alquitranes ó "tars". La descomposición de esta fracción de hidrocarburos puede estar influenciada por diferentes parámetros como tamaño de partícula, temperatura, presión, tiempo de calentamiento y tiempo de residencia.

3- Oxidación ó combustión parcial del sólido por un agente gasificador, normalmente aire. Parte del compuesto se transforma en CO, CO₂ y H₂O. En esta etapa se genera la energía necesaria para llevar a cabo las reacciones de reducción y pirólisis.

4- Reducción ó gasificación del char producido durante la pirólisis. El char se convierte en CO, CH₄ y H₂ principalmente.

Aunque se dan más de mil reacciones químicas durante el proceso, en resumen, las principales con sus calores de reacción a 25 C son:



Las dos primeras reacciones son endotérmicas y el calor que requieren para llevarse a cabo es suministrado, sobre todo, por la tercera reacción que es muy exotérmica.

Aunque la última reacción es poco importante en el balance energético, es fundamental en el balance másico, ya que la constante de equilibrio de esta reacción determinará la composición de salida del gas.

El resultado de este proceso, es un gas compuesto fundamentalmente por: CO, H₂, N₂, CO₂, H₂O e hidrocarburos. En muy pequeña cantidad se tendrán, NH₃, H₂S y alquitranes. Este gas una vez depurado puede quemarse limpiamente, produciendo energía mecánica ó eléctrica, sin dejar ningún residuo y cumpliendo ampliamente la normativa ambiental de emisiones gaseosas contaminantes.

Aún así, la gasificación fue poco a poco olvidándose, ya que en condiciones de suministro normal de hidrocarburos siempre es más sencillo utilizar un combustible líquido ó gaseoso que se almacena en un depósito, que generar un gas inflamable a partir de un sólido combustible.

No obstante esta tecnología ha ido desarrollándose desde universidades e instituciones de investigación, y se han conseguido diseños eficientes, compactos y económicos, y empiezan a construirse ya instalaciones de 0,5 ó 1 MWe, con muy buenos resultados utilizando como combustible residuos forestales y agrícolas.

Estas instalaciones tienen varias ventajas:

- Son **instalaciones compactas**, todos los equipos de una planta de 500 KWe se transportan en el semirremolque de un trailer.
- Son **instalaciones seguras**, ya que se trabaja en todo el proceso en ligero vacío, creado por la aspiración del motor de combustión interna, por lo que los riesgos de fuga del gas inflamable (presencia de H₂) y tóxico (presencia de CO) son nulos, en el peor de los casos entrará aire al sistema disminuyendo la eficiencia energética.
- Son **instalaciones eficientes**, ya que la inclusión de motogeneradores de alto rendimiento para combustionar el gas producido, cogenerando electricidad, que

se exporta a la red pública (obteniendo ingresos) y calor, para emplear en operaciones de secado (deshidratadoras de cereal), evaporación (concentración de salmueras, zumos), refrigeración y congelación (mediante máquinas de absorción de calor), etc.

3. OBJETIVO DEL PROYECTO

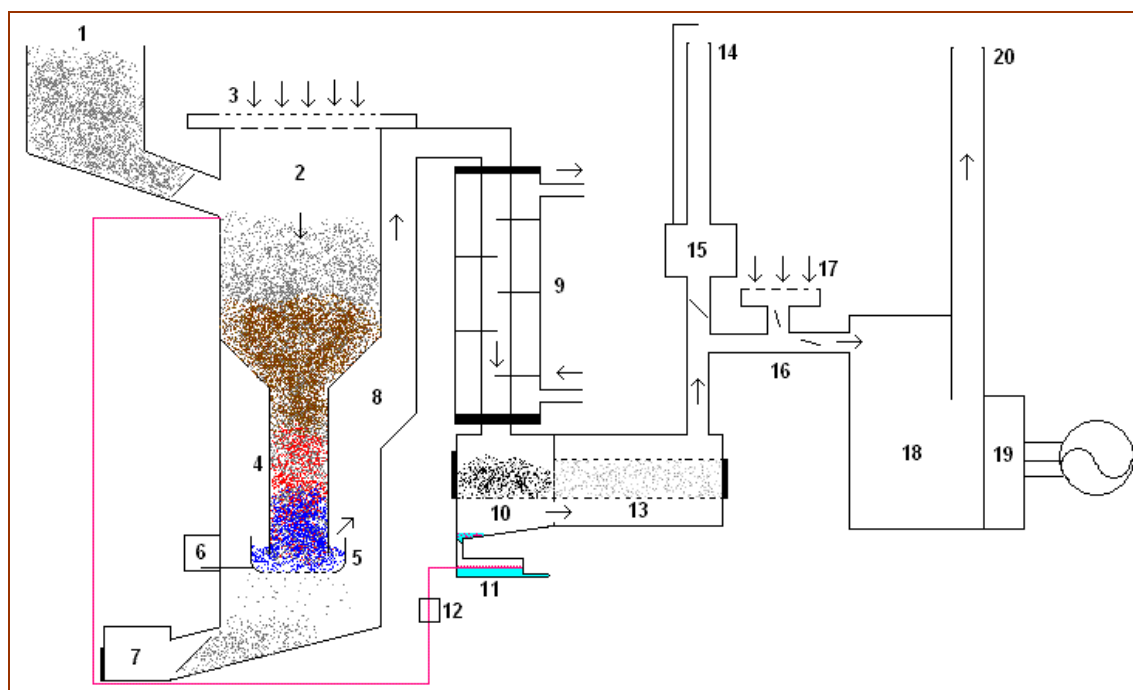
Mi propuesta de proyecto se encamina en lo siguiente:

Cualquier empresa puede beneficiarse de la obtención de su potencia eléctrica con el procedimiento de autogeneración por gasificación, pero especialmente aquellas con demanda de calor en sus procesos: conserveras, deshidratadoras de cereal y hortalizas, fabricación de papel y cartón, secaderos de pintura, etc., que obtienen ese calor a partir de gasoil ó gas natural en quemadores y además contratan su energía eléctrica a la red pública.

Con la gasificación, podrían generar su propio calor y electricidad y además obtener un excedente económico por la venta de la electricidad no consumida, con un coste de inversión mínimo y además muy subvencionado.

El diagrama de proceso óptimo, diseñado por mí, para una instalación de gasificación de hasta 500 kWe (podrían situarse varios gasificadores en paralelo para obtener mayores potencias) es el siguiente:

Figura 3.1 - Esquema de proceso de una instalación integrada de gasificación – cogeneración



La biomasa troceada (como máximo, cubos de 50 mm) y secada al aire (hasta un 20% en peso de humedad) se almacena en una tolva [1], que alimenta el gasifica-

dor [2] cuando el nivel de sólido en éste disminuye de sus 2/3 partes, utilizando un sistema de control automático con sensor mecánico de nivel.

El gasificador es de **lecho móvil descendente estratificado**, también denominado "downdraft", y el movimiento de sólidos en el mismo se rige por la gravedad y por la succión ó vacío al que opera, debido a la presión negativa provocada en el motor de explosión. El aire atmosférico accede al gasificador por el filtro superior [3] y circula hacia abajo por todo el lecho, para mejorar la transferencia de calor en todo el lecho e impedir la recirculación de gas hacia arriba y su salida al exterior en los periodos de carga.

Inicialmente (zona gris) la biomasa se seca y se va calentando lentamente (toda la partícula es isotérmica, sin perfiles radiales de temperatura).

Posteriormente (zona marrón) conforme se aproxima a la región caliente inferior comienzan los fenómenos de pirolisis. Es en ese punto cuando se hace necesario un aumento en la velocidad de flujo del gas de modo que los alquitranes liberados sean rápidamente transportados a la región de combustión caliente inferior para su craqueo en moléculas simples; para ello se reduce sustancialmente el diámetro del gasificador.

Posteriormente se encuentra la región de combustión (zona roja) donde la temperatura es tal que el oxígeno del aire reacciona con el carbono e hidrógeno fijos de la biomasa oxidándolos a dióxido de carbono y agua respectivamente, y liberando una gran cantidad de energía que es transmitida por conducción y radiación a todo el lecho. El encendido del gasificador, para arrancarlo cada vez que es necesario realizar una parada, se realiza en esa zona por medio de una resistencia [6] que calienta el lecho hasta llevarlo a incandescencia.

Al final se encuentra el volumen de reducción (zona azul), donde se produce la reducción del carbono fijo no combustionado con el dióxido de carbono, produciendo monóxido de carbono, quedando como sólido inerte las cenizas inorgánicas que dado su bajo tamaño y cohesión caen por la parrilla [5] a la parte inferior del gasificador y de ahí, por medio de una válvula de apertura temporizada, al cenicero [7] que dispone de un sistema de refrigeración.

La salida del gas del gasificador se lleva a cabo por un toroide excéntrico [8] que además de aumentar el tiempo de residencia del gas en esa región de alta temperatura (para craquear aún más los alquitranes), produce un aumento en la sección de paso del gas y por consiguiente una disminución en su velocidad con lo que se produce la precipitación de parte de la cenizas volantes.

Después el gas, a unos 600 C, llega a un intercambiador de calor de carcasa y tubos [9], donde se produce su refrigeración hasta unos 200 C. Por el exterior de la carcasa circula el refrigerante, que puede ser agua (para refrigerar en una torre de refrigeración evaporativa de ciclo abierto), ó aire para emplear en cogeneración (por ejemplo en un secadero de pintura ó cereal).

El gas circula por el interior de los tubos en el intercambiador de arriba a abajo, ya que al disminuir su temperatura de 400 C, comienzan a condensar los alquitranes remanentes y el agua de condensación, formando unas finas gotitas grasientas, que quedan retenidas en el prefiltro [10] formado por partículas de unos 10 mm de la propia biomasa de gasificación, goteando posteriormente al decantador [11] donde se separan por flotación los alquitranes (que son recirculados al gasificador) por medio de una bomba de impulsos [12].

El gas atraviesa después de abajo a arriba un filtro [13] de una sección amplia (por consiguiente una muy baja velocidad del gas) formado por un lecho empacado de partículas de biomasa de diámetro 2 mm, de forma que la totalidad de cenizas volantes son retenidas, obteniendo un gas depurado. La finalidad de utilizar biomasa como agente filtrante es para emplearla como combustible (introduciéndola en la tolva de alimentación [1]) una vez cumplido su ciclo de operación.

Posteriormente el gas llega a la zona de carburación [16] donde se mezcla en proporción estequiométrica (aproximadamente a partes iguales en volumen) con el aire atmosférico proveniente del filtro [17]. El dosado instantáneo en función de la carga del motor es regulado automáticamente, actuando un controlador sobre las válvulas de mariposa de aceleración y estrangulación de aire. La temperatura de la mezcla carburada deberá ser de unos 50 C, medida con un termopar y actuando un lazo de control, en estado estacionario, sobre la carga de refrigeración en el intercambiador [9], para lograr ese valor aproximado.

En periodos de arranque del gasificador, hasta alcanzar un régimen permanente de generación de gas, éste es conducido y quemado por la antorcha [14] siendo aspirado por un ventilador centrífugo metálico [15] que proporciona el tiro en periodos de inactividad del motor. El arranque pleno se logra en unos 15 minutos.

Para parar el gasificador, simplemente se obtura la entrada de aire [3] a la vez que se va expulsando y quemando el gas remanente por la antorcha. La parada completa se consigue en unos 30 minutos.

Por último, la mezcla aire gas es aspirada por el motor de combustión interna [18] (con un alternador acoplado [19]), que idealmente será un motor de gas pobre operando según un ciclo Otto, especialmente cuando interesa obtener calor de cogeneración a partir del agua de refrigeración, aceite y gases de escape ó para instalaciones pequeñas (aproximadamente 25 KWe) de autoabastecimiento sólo eléctrico, podrá emplearse un motor de explosión de gasolina que opere con alimentación a carburador. Los gases de escape son liberados por la chimenea [20].

4. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

A modo de ejemplo, expondré un caso real de un estudio de viabilidad económica que he efectuado recientemente para una deshidratadora de alfalfa palentina que obtiene el calor necesario para el secado del cereal, de quemadores turbulentos de pulverización de gasóleo. El balance energético global de la instalación es el siguiente:

Tabla 4.1 – Balance energético global de la deshidratadora de alfalfa actual

Demanda térmica de secado (MJ/año)	38.275.650
Demanda térmica de gasóleo (MJ/año)	42.528.500 *
Consumo de gasóleo (l/año)	1.169.329 **
Coste total de gasóleo (€/año)	713.291 ***

* Eficiencia de combustión del gasóleo en quemadores turbulentos = 90 %

** PCI medio del gasóleo = 36,37 MJ/l

*** Coste unitario medio del gasóleo C = 0,61 €/l

Dada la cuantía de la partida de gasto de combustible, he propuesto utilizar paja de cereal peletizada, como combustible de gasificación. Con el gas combustible obtenido y haciendo uso de motogeneradores adaptados para gas pobre (bajo poder calorífico), podemos generar el calor necesario para deshidratar la alfalfa (mediante exhaustación de los gases de escape calientes a 470 C) y electricidad, para autoconsumo y exportación a la red pública.

Los ingresos cuantiosos de venta de electricidad y el ahorro de combustible, hacen que esta propuesta sea muy interesante.

El siguiente desarrollo se encamina a demostrar en términos económicos la viabilidad manifiesta y clara de ésta opción tecnológica.

4.1 DEFINICIÓN DE LA INSTALACIÓN

La biomasa que se considera utilizar es paja de cereal peletizada. La peletización por extrusión, es un proceso simple y poco exigente energéticamente que aumenta la densidad aparente de la biomasa para evitar los problemas que una biomasa poco densa puede ocasionar en el lecho de sólido del gasificador (by-pass del gas, formación de canales preferentes, etc.). Las características físicas principales de la biomasa a emplear son las siguientes:

Tabla 4.2 – Principales parámetros físicos de la biomasa

Humedad relativa (%)	10 - 15
Tamaño de partícula (mm)	> 10
Densidad aparente (Kg/m ³)	> 350
Poder calorífico inferior, PCI (MJ/Kg)	15

Las características generales del motogenerador a emplear en la instalación de cogeneración (<http://www.ienbacher.com>) son las siguientes:

Tabla 4.3 – Características generales del motogenerador Jenbacher E00320GM

Configuración	20 cilindros en V (70°)
Relación de compresión (-)	11,8:1
Diámetro x Carrera (mm)	135 x 170
Cilindrada (cm ³)	48.670
Régimen de giro (rpm)	1.500
PCI mínimo gas (KJ/Nm ³)	5.000
Colector escape	seco

La planta de generación de electricidad funcionará de forma continua, parando únicamente por motivos de mantenimiento. Se estima un funcionamiento de 8.000 horas anuales.

Para cumplir con la demanda térmica de secado es necesario incluir 4 grupos de generación. La electricidad producida vendrá dada entonces como variable dependiente de la primera. Todo esto se recoge en la siguiente tabla:

Tabla 4.4 – Características técnicas del motogenerador Jenbacher E00320GM trabajando con gas pobre

Número de grupos (-)	1	4
Carga (%)	100	100
Consumo de gas pobre (KW)	1.636	6.544
Caudal gases escape (Nm ³ /h)	2.820	11.280
Temperatura gases escape (C)	470	470
Calor gases escape (KW) (salida 25 C)	497	1.988
Calor gases escape (KW) (salida 100 C)	334	1.309
Calor refrigeración motor (KW)	424	1.696
Calor total disponible (KW)	921	3.684
Rendimiento térmico global (%) (salida 25 C)	56	56
Potencia mecánica (KW)	609	2.436
Electricidad producida (KW)	589	2.356
Rendimiento eléctrico global (%)	36	36

Rendimiento cogeneración global (%)	92	92
Horas de funcionamiento anual (h/año)	8000	8000
Energía gases escape (MJ/año) (salida 100 C)	9.619.200	38.476.800
Energía eléctrica generada (KWh)	4.712.000	18.848.000

El proceso de gasificación sería similar al mostrado en la Figura 3.1, un esquema de cuatro gasificadores en paralelo (cada uno alimentando un grupo motogenerador) de lecho móvil downdraft estratificado modificado; un sistema de enfriamiento indirecto del gas; un sistema de filtrado en seco con recuperación de condensados y un grupo de cuatro motogeneradores con recuperación de calor para cogeneración.

Dado que la combustión en el motogenerador es completa (cuenta con un regulador de dosado electrónico), los gases resultantes son inocuos (dióxido de carbono y agua) por lo que se pueden inyectan directamente en un lecho móvil de alfalfa virgen provocando su secado, de este modo se evitan costos adicionales en materia de intercambiadores de calor indirectos gas-aire de secado. Hay que reseñar que de los múltiples flujos de calor aprovechables del motogenerador (agua de refrigeración, aceite de lubricación, gases de escape) sólo se aprovechará éste último, ya que es el de mayor calidad termodinámica (470 C). Otra opción, más eficiente, sería aprovechar los demás flujos en utilidades tales como bombas de calor, máquinas de absorción (para generar frío), etc. Todo esto escapa al alcance de este estudio.

El grupo motogenerador funcionará conectado en paralelo a la red pública de distribución, para ello, el régimen de giro (rpm) del eje del motogenerador y el nivel de tensión obtenida en el alternador vendrán impuestos por la frecuencia y tensión de la red. Así pues, los elementos de control sólo podrán actuar sobre la alimentación de combustible a los motores (variando la producción de energía activa) y sobre la excitación de los generadores (modificando la producción de energía reactiva).

El exceso de potencia generada sobre la demandada por la planta, se exportará a la red de compañía. El sistema de regulación y control de los grupos, ajustará de forma automática y en continuo la producción de energía reactiva en función de la demandada por los equipos consumidores de la planta, de forma que la energía reactiva entregada a la red sea nula (factor de potencia igual a la unidad).

El resumen energético de la planta propuesta se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 4.5 – Balance energético global de la planta de gasificación propuesta

Energía eléctrica generada (KWh/año)	18.848.000
Energía gases de escape (MJ/año)	38.476.800
Demanda térmica de gas pobre (MJ/año)	192.384.000 *
Demanda térmica de biomasa (MJ/año)	240.480.000 **
Consumo de biomasa (Kg/año)	16.032.000 ***
Coste total de biomasa (€/año)	240.480 ****
Ahorro de combustible (€/año)	472.811

* Rendimiento térmico gases escape (salida 100 C) = 20 %

** Rendimiento térmico de gasificación = 80 %

*** PCI medio de la biomasa = 15 MJ/Kg

**** Coste unitario de biomasa (recogida, transporte, peletización) = 1,50 c€/Kg

Según se muestra en la tabla anterior, se precisan alrededor de 16.000 Tm de paja de cereal para alimentar a la planta durante un año. Dado lo abundante y denostado del residuo, la consecución de ese objetivo no entraña ninguna dificultad.

Una vez obtenido el ahorro de combustible, pasemos a cuantificar los ingresos por cogeneración de electricidad.

4.2 ELECTRICIDAD TRANSFERIDA A LA RED PÚBLICA

La electricidad producida por la planta de generación será cedida a la Compañía eléctrica, exceptuando el autoconsumo de la planta (el 7 % del total).

La retribución que se obtiene por la cesión de energía eléctrica viene regulada por el Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo:

(<http://www.boe.es/boe/dias/2004/03/27/pdfs/A13217-13238.pdf>) por el que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

En el Capítulo IV, Sección 1ª, Artículo 22, del Real Decreto anteriormente citado, se definen los mecanismos de retribución de la energía eléctrica producida en régimen especial. Se establecen dos posibles opciones:

1. Ceder la electricidad a la empresa distribuidora de energía eléctrica. En este caso, el precio de venta de la electricidad vendrá expresado en forma de tarifa regulada, única para todos los periodos de programación, expresada en c€/KWh.
2. Vender la electricidad libremente en el mercado, a través del sistema de ofertas gestionado por el operador del mercado, del sistema de contratación bilateral ó a plazo ó de una combinación de todos ellos. En este caso, el precio de venta de la electricidad será el precio que resulte en el mercado organizado o el precio libremente negociado por el titular o el representante de la instalación, complementado por un incentivo y, en su caso, por una prima, ambos expresados en c€/KWh.

La opción de venta elegida deberá mantenerse durante al menos un año.

En cualquiera de las dos opciones de venta anteriores, la instalación recibirá un complemento por energía reactiva, de acuerdo con lo indicado en el artículo 26 del RD. 436/2004.

Aunque en la práctica, la segunda opción suele ser siempre más ventajosa desde el punto de vista económico, actualmente, el precio de la electricidad que se vende libremente en el mercado, es decir el precio final medio unidades de adquisición, publicado por la Compañía Operadora del Mercado Español de la Electricidad, OMEL: (http://www.omel.es/frames/es/resultados/resultados_index.htm) ha experimentado un fuerte ascenso, con un valor para enero de 2006 superior a 8 c€/KWh producido; es por ello que en este estudio utilizaremos la primera opción, más conservadora y estable.

En el artículo 37 del RD 436/2004, se define la tarifa regulada (90 % de la tarifa eléctrica media ó de referencia, (TER), para las instalaciones de la categoría b6: "Centrales que utilicen como combustible principal biomasa residual originada en las actividades de producción, cosecha y procesado de materias primas dentro del sector agrícola"). No obstante, aunque todavía no se ha actualizado este Real Decreto, el Plan de Energías Renovables 2005 -2010, de 20 de agosto:

(http://www.idae.es/doc/Resumen%20PER%202005-2010%208%20agosto_16035.pdf),

ya contempla cambios importantes del mismo, de cara a aumentar la rentabilidad económica de estas instalaciones.

En la siguiente tabla se muestra el cuadro de tarificación de la electricidad vendida con sus partidas constitutivas:

Tabla 4.7 – Precio medio de venta de la electricidad generada

Tarifa regulada, 90 % TER * (c€/KWh)	6,8929
Complemento reactiva punta, 8 % TER * (c€/KWh)	0,6127
Complemento reactiva llano, 4 % TER * (c€/KWh)	0,3063
Complemento reactiva valle, 8 % TER * (c€/KWh)	0,6127
Precio medio de venta (c€/KWh)	8,4246

* TER 2006 (<http://www.boe.es/boe/dias/2005/12/28/pdfs/A42576-42600.pdf>) = 7,6586 c€/KWh

En la siguiente tabla se calcula la retribución obtenida por la cesión de los excedentes eléctricos. Se desprecia la partida de gasto correspondiente a la compra de electricidad durante los periodos de mantenimiento de la instalación, por ser despreciable para este análisis económico:

Tabla 4.8 – Ingresos anuales por venta de electricidad

Energía generada (KWh/año)	18.848.000
Energía autoconsumida (KWh/año)	1.319.360
Energía exportada (KWh/año)	17.528.640
Ingresos (€/año)	1.476.718

Esta tabla nos muestra los ingresos esperados para el año 2006. Para estimarlos el resto de los años de vida útil de la instalación, y hasta que el RD 436/2004 sea renovado, haremos uso de un coeficiente de inflación anual constante del 3,5 % para cuantificar su incremento anual.

4.3 GASTOS DE OPERACIÓN

Una vez calculados los ingresos por venta de electricidad y por ahorro de combustible, podemos estimar otras partidas de gastos y una inversión aproximada, para evaluar la viabilidad económica del proyecto. Para ello se extrapolarán actualizados los datos obtenidos de la planta piloto de gasificación de 100 KWe que diseñé en Zaragoza.

Para operar la planta son necesarios tres operadores, uno por turno (cualificación: FP II), más un técnico como responsable de la planta (cualificación: Ingeniería Técnica) que se ocupará también de los temas administrativos.

La tabla de gastos estimados para la planta de gasificación sería la siguiente:

Tabla 4.9 – Gastos de operación anuales

Mantenimiento y operación (€/año)	200.000
Personal (1 técnico, 3 operadores) (€/año)	150.000
Seguros (€/año)	50.000
Otros (imprevistos, etc.) (€/año)	30.000
Total gastos (€/año)	430.000

4.4 INVERSIÓN NECESARIA

La inversión de la planta referenciada sería aproximadamente:

Tabla 4.10 – Inversión

Equipos de proceso	2.192.300
Construcción civil	434.750
Instalación de equipos	377.600
Proyecto y dirección de obra	601.258
Imprevistos	250.000
Total inversión (€)	3.855.908

Quedan excluidos:

- IVA
- Tasas (organismos oficiales, colegio de ingenieros, compañía eléctrica).
- Instalaciones auxiliares (agua, electricidad, etc.).

4.5 ANÁLISIS FINANCIERO

La financiación del proyecto se hará a través de ayudas y líneas de financiación ICO-IDAE (<http://www.idae.es/doc/CaracterísticasICOIDAE.pdf>).

Las ayudas del IDAE para la tipología del proyecto estudiado de cogeneración con biomasa: (http://www.idae.es/doc/AnexosICOIDAE20052_13024.doc) ascienden a 250 € por cada 1.000 € de financiación ICO solicitada. Esta ayuda se aplicará a la amortización anticipada parcial del préstamo, disminuyendo el principal pendiente.

La financiación ICO, del 80 % como máximo del valor de la inversión a acometer, se corresponde con un tipo de interés variable referenciado a *euribor* a seis meses

más hasta el 1 %, revisable semestralmente. La amortización se realizará hasta en diez años, incluido uno de carencia del principal.

La solicitud podrá cursarse con alguna de las siguientes entidades colaboradoras: (http://www.idae.es/doc/ListadoEntidadesFinancierasAdheridas3_19820.pdf) y en ningún caso las mismas cobrarán ningún tipo de comisión por financiar el proyecto.

En éste estudio, se considerará una financiación mediante crédito del 80 % de la inversión, a amortizar en 10 años. El *euribor* se ha considerado igual a 2,85 para el año 2006 y por simplificar, supondremos un incremento anual del mismo de 0,12 puntos porcentuales. El tipo de interés empleado es el máximo posible (*euribor* + 1 %), para incluir una dotación al riesgo. No se considerará el año de carencia del principal. La instalación comienza a operar establemente el 1 de enero de 2007,

No se empleará ningún otro efecto subvencionable de otras entidades (CEE, CC.AA.), dada la variedad y diferencia de estos según la ubicación física del proyecto.

El cuadro de capitalización del préstamo sería:

Tabla 4.11 – Cuadro de capitalización

Capital propio (M€)	771
Préstamo (M€)	3.085
Total inversión (M€)	3.856
Préstamo (M€)	3.085
Ayuda IDAE (M€)	-771
Endeudamiento (M€)	2.314

Por último, se considerará una vida útil de la instalación de 10 años (prorrogables) y una inflación anual constante del 3,5 %.

La cuenta de resultados (en millares de euros, redondeados) para los diez años de vigencia de la instalación, sería:

Tabla 4.12 – Cuenta de resultados para 10 años de vida útil

ANO	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ingresos	-	1.529	1.582	1.638	1.695	1.754	1.816	1.879	1.945	2.013	2.083
Ahorro gasóleo	-	490	507	524	543	562	581	602	623	645	667
Coste biomasa	-	-248	-257	-266	-275	-285	-295	-305	-316	-327	-339
Gastos	-	-445	-461	-477	-493	-511	-529	-547	-566	-586	-607
BAAIT	-	1.326	1.371	1.419	1.470	1.520	1.573	1.629	1.686	1.745	1.804
Amortización	-	-386	-386	-386	-386	-386	-386	-386	-386	-386	-386
BAIT	-	940	985	1.033	1.084	1.134	1.187	1.243	1.300	1.359	1.418
Intereses	-	-92	-85	-78	-70	-62	-53	-43	-33	-23	-12
BAT	-	848	900	955	1.014	1.072	1.134	1.200	1.267	1.336	1.406
Impuesto (35 %)	-	-297	-315	-334	-355	-375	-397	-420	-443	-468	-492
BDT	-	551	585	621	659	697	737	780	824	868	914
Amortización	-	386	386	386	386	386	386	386	386	386	386
FC	-3.856	937	971	1.007	1.045	1.083	1.123	1.166	1.210	1.254	1.300
FCA	-3.856	913	922	931	939	946	953	960	966	970	974
FCAA	-3.856	-2.943	-2.021	-1.090	-151	795	1.748	2.708	3.674	4.644	5.618
PR											3.87
VAN											5.618
TIR											23.89

BAAIT = Beneficio Antes de Amortizaciones, Intereses y Tasas (M€/año).

BAIT = Beneficio Antes de Intereses y Tasas (M€/año).

BAT = Beneficio Antes de Tasas (M€/año).

BDT = Beneficio Después de Tasas (M€/año).

FC = Flujo de Caja (M€/año).

FCA = Flujo de Caja Actualizado (M€/año).

FCAA = Flujo de Caja Actualizado Acumulado (M€/año).

PR = Periodo de Recuperación (años).

VAN = Valor Actual Neto (M€).

TIR = Tasa Interna de Rendimiento (%).

Luego queda suficientemente demostrado que la instalación de gasificación de paja de cereal para generación de calor de secado y electricidad para exportación a la red pública, posee una alta viabilidad económica.

5. CONCLUSIONES

Estas páginas son sólo un modo de presentar un breve resumen de una tecnología muy antigua, pero bastante desconocida por el público en general, que optimizada convenientemente con los medios que nos proporciona la tecnología actual, va a dar bastante que hablar en los próximos años.

Conforme aumenten las ayudas públicas a las energías renovables, y el público en general se concencie de la importancia de las mismas, esta tecnología se convertirá en una forma de inversión más, para sociedades, ayuntamientos, etc.

Considero que, amparándome en los nuevos procesos y mejoras de diseño que han aparecido, es el momento idóneo para introducir la gasificación como una forma eficiente de revalorizar residuos sin valor aparente.

Con la difusión de este documento se busca el poder llegar a posibles clientes prospectos de esa tecnología, a los cuales mis conocimientos y experiencia en esta materia puedan serles de utilidad.