



Congreso Nacional del Medio Ambiente
Cumbre del Desarrollo Sostenible

COMUNICACIÓN TÉCNICA

La central térmica de la Pereda. Planta de demostración de lecho fluido. Aplicación a la co-combustión

Autor: Alejandro Jazart Caso

Institución: Universidad de Oviedo. Departamento de Energía.
E-mail: pcen5@etsimo.uniovi.es

Otros autores: M^a Jesús Blanco Acebal (Universidad de Oviedo. Departamento de Energía); Jorge Xiberta Bernat (Universidad de Oviedo. Departamento de Energía);



RESUMEN:

Hay dos grandes categorías de recursos energéticos: los no renovables y los renovables. En el primer grupo se encuentran los que, durante muchos años, hemos utilizado como fuentes de energía fósiles (carbón, petróleo, gas natural) y nucleares. Hoy día se estima que, de seguir un ritmo de consumo similar al actual, se podrían plantear problemas de seguridad en el suministro energético. Hasta hace poco tiempo se pensó en la energía nuclear como solución a este problema. Por ello, muchos países industrializados, se lanzaron a la construcción de centrales y, de hecho, algunos como Francia y Bélgica, obtienen en la actualidad más del 50% de la electricidad que consumen a partir de esta energía. Los recursos naturales renovables son aquellos que, tras ser utilizados, pueden regenerarse natural o artificialmente, como el agua o los alimentos. Son recursos que, al estar sometidos a ciclos, se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza. En la era contemporánea la necesidad de disponer de fuentes de energía aprovechables, se ha convertido en algo imprescindible para el ser humano. Basta pensar en el consumo energético que una persona común realiza al día, para darse cuenta de la dependencia existente. El gas empleado para calentar el agua y para la calefacción, la gasolina que mueve los coches, aviones y trenes, la electricidad que ilumina las casas y que permite que suenen los radios y se vea la televisión, entre otros usos, son fuentes de energía que se emplean en la actualidad y que constituyen uno de los pilares de la civilización. Sin ellas, no funcionarían los aparatos empleados por el hombre en su vida cotidiana. Se calcula que las reservas de fuentes de energía convencionales existentes en la tierra pueden durar todavía varios cientos de años. Esto implica que una crisis energética real que supusiera la ausencia de estos productos, tendría consecuencias catastróficas para la humanidad y no se prevé que suceda al menos a medio plazo; no obstante, la obtención de esta energía es cada vez más cara. Los pozos de carbón y petróleo deben perforarse cada vez más profundamente, lo que dispara los costes de dichas materias. Las centrales nucleares dan resultados inferiores a los esperados; además, el coste de purificación del uranio que estas centrales necesitan para trabajar, es muy elevado. A la vista de estos inconvenientes, los distintos gobiernos del mundo han puesto en marcha, a partir de la crisis petrolífera de 1973, diversos proyectos de investigación sobre otras fuentes de energía que puedan resultar rentables cuando el coste de las fuentes tradicionales sea demasiado elevado. Estas nuevas energías, son las denominadas renovables (más ampliamente alternativas) como la solar fotovoltaica, solar fototérmica, eólica, hidráulica, oceánica o la biomasa.



ÍNDICE

SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

1.- BIOMASA

1.1.-INTRODUCCIÓN

1.2.-RECURSOS

2.-POTENCIAL ENERGÉTICO EN ESPAÑA. SITUACIÓN ACTUAL

3.- RESIDUOS

4.- LA CO-COMBUSTIÓN

4.1.-INTERÉS DE LA CO-COMBUSTIÓN PARA FOMENTAR EL USO DE LA BIOMASA

4.2.-TECNOLOGÍAS DE CO-COMBUSTIÓN

4.3.-PROBLEMAS TÉCNICOS DE LA CO-COMBUSTIÓN

5.-CONCLUSIONES

6.- LA CENTRAL TÉRMICA DE LA PEREDA. PLANTA DE DEMOSTRACIÓN DE LECHO FLUIDO DE LA U.E.

6.1.- LA CALDERA. BALANCE ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO DE LA CALDERA

6.1.1.- Influencia de la biomasa sobre el rendimiento exergético

6.2.-LA PLANTA. ANÁLISIS EXERGÉTICO Y EXERGÉTICO GLOBAL

6.2.1.-Influencia de la biomasa sobre el rendimiento exergético global

6.3.-ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INCORPORACIÓN DE BIOMASA

6.4.-POTENCIAL DE ABASTECIMIENTO EN BIOMASA A LA CENTRAL DE LA PEREDA

7.- CÁLCULO DE LA BIOMASA UTILIZABLE EN ASTURIAS

8.- CONCLUSIONES FINALES



SITUACIÓN ENERGÉTICA EN ESPAÑA

España mantiene desde hace tres lustros un notorio crecimiento del consumo de energía y de la intensidad energética. Nuestra creciente y excesiva dependencia energética exterior, cercana al 80% en los últimos años, y la necesidad de preservar el medio ambiente y asegurar un desarrollo sostenible, obligan a la proliferación de fórmulas eficaces para un uso eficiente de la energía y la utilización de fuentes limpias. Por tanto, el crecimiento sustancial de las fuentes renovables, junto a una importante mejora de la eficiencia energética, responde a motivos de estrategia económica, social y medioambiental, además de ser básico para cumplir los compromisos internacionales en materia de medio ambiente.

Como recoge el Plan de Energías Renovables en España (PER) 2005-2010, que constituye la revisión del Plan de Fomento de las Energías Renovables en España 2000-2010, se trata de mantener el compromiso de cubrir con fuentes renovables al menos el 12% del consumo total de energía en 2010, objetivo que pretenden las políticas de fomento de las energías renovables en la Unión Europea desde la aprobación del Libro Blanco en 1997 y que, en España, dio lugar a la Ley del Sector Eléctrico y al mencionado Plan de Fomento.

Además, se propusieron otros dos objetivos para el año 2010: que el 29,4% de la generación eléctrica fuese de origen renovable y el 5,75% de los combustibles utilizados en el transporte fuesen biocarburantes. Ahora bien, desde la aprobación de ese plan hasta finales de 2004, el consumo global de energías renovables ha aumentado en España en 2,7 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep) anuales, un crecimiento significativo pero insuficiente para alcanzar los objetivos fijados, de tal forma que a finales de 2004 se había alcanzado un cumplimiento acumulado del 28,4% sobre el objetivo global de incremento de las fuentes renovables previsto para 2010.

Por otro lado, durante estos años, el consumo de energía primaria y la intensidad energética han crecido muy por encima de lo previsto, en gran medida inducido por el importante incremento de la demanda eléctrica y del consumo de carburantes para el transporte. Un crecimiento que es muy superior al deseable y que dificulta además, de manera indirecta, el cumplimiento del objetivo relativo de cobertura con recursos renovables, al aumentar el peso de la demanda primaria que debe ser cubierto con dichos recursos.



Así las cosas, con un crecimiento global de las energías renovables sensiblemente inferior al previsto, y con unos incrementos del consumo de energía notablemente superiores, en el ecuador del Plan de Fomento aprobado en 1999, a finales de 2004, la contribución porcentual de las energías renovables al consumo de energía primaria tan sólo había aumentado unas décimas con respecto a 1998, año de referencia del Plan de Fomento. Fue necesaria, por tanto, la revisión del plan hasta ahora vigente y la elaboración de uno nuevo, con el diseño de nuevos escenarios y el establecimiento de objetivos acordes con las actuales perspectivas. A ello responde este documento con el Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Deben también considerarse, además, los nuevos compromisos de carácter medioambiental, muy especialmente los derivados del Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión 2005-2007 (PNA), aprobado mediante Real Decreto 1866/2004, de 6 de septiembre, y en general los relativos al cumplimiento del Protocolo de Kioto, que entraron en vigor el 16 de febrero de 2005.

La lucha contra el cambio climático constituye una prioridad política en materia de medio ambiente, tanto para la Unión Europea como para España, y como tal forma parte de las correspondientes estrategias para un desarrollo sostenible. En este contexto, se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la U.E, comercio que en España ha sido regulado a través del Real Decreto Ley 5/2004, del mencionado PNA 2005-2007 y, mas recientemente, a través de la Ley 1/2005.

Las plantas de generación eléctrica que utilizan recursos renovables no están cubiertas por esta Directiva, ya que solo afecta a las instalaciones que emiten CO₂. Es necesario recordar en este sentido, las ventajas medioambientales que ofrecen las energías renovables frente a los recursos fósiles. Un mayor empleo de fuentes renovables reduce la contribución del sistema energético al efecto invernadero y minimiza, en general, las externalidades en los procesos de generación de energía eléctrica, que incluyen costes no imputados al precio del kilovatio hora. Las fuentes de energías renovables se incorporan en el PNA 2005-2007 como instrumento fundamental para la reducción de las emisiones de CO₂ en los sectores difusos que no están cubiertos por la Directiva. El propio PNA ya anticipaba la necesidad de revisar los objetivos del Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010 en lo relativo al uso de biocarburantes para el transporte, con vistas a alcanzar los valores de consumo establecidos para los años 2005



y 2010 por la Directiva europea 2003/30/CE sobre biocarburantes, que se transpone a nuestra legislación a través del Real Decreto 1700/2003.

En los estudios realizados por el IDAE, se han analizado dos escenarios energéticos generales (Tendencial y de Eficiencia) y otros tres escenarios de desarrollo de las energías renovables (Actual, Probable y Optimista), habiéndose elegido como referencia para el establecimiento de objetivos del Plan, el escenario energético “Tendencial” y como escenario de energías renovables el “Probable”.

El Plan de Energías renovables en España pretende alcanzar el objetivo de cobertura de las energías renovables sobre el consumo de energía primaria para 2010 (12,1%). En lo que corresponde a la producción eléctrica, la generación con renovables alcanzaría el 30,3% del consumo bruto de electricidad en 2010, cumpliendo así con el objetivo indicativo fijado para España por la Directiva europea (29,4%), con una contribución muy destacable de la energía eólica.

1. BIOMASA

1.1- INTRODUCCIÓN

La biomasa es la energía solar convertida por la vegetación en materia orgánica, que se puede recuperar por combustión directa o transformándola en otros combustibles. Desde un punto de vista legal, existen dos definiciones de la biomasa. La más amplia, según la Directiva 2011/77/EC relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad, que adopta por ejemplo Holanda y que dice: “fracción biodegradable de los productos de desecho y residuos procedentes de la agricultura (incluidas las sustancias de origen vegetal y de origen animal), de la silvicultura y de las industrias conexas, así como la fracción biodegradable de los residuos industriales y municipales”. La definición restrictiva, según la directiva 2001/80/EC sobre limitación de emisión a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de grandes instalaciones de combustión, que es la siguiente: “productos compuestos total o parcialmente por materia vegetal de origen agrícola o forestal que puedan ser utilizados como combustible para valorizar su contenido energético y los siguientes residuos utilizados como combustibles: residuos vegetales de origen agrícola, forestal y otros, residuos de corcho y de madera si no contienen compuestos organohalogenados o metales pesados”. En el año 2001, con un consumo estimado en torno a 1400 Mtep/año, la biomasa sólida (materiales biomásicos



de naturaleza sólida), aportaba aproximadamente el 13% de la energía primaria mundial, cifra comparable a las que se obtenían del gas natural y de la energía nuclear y que supone más del 99% de la energía obtenida del recurso total de la biomasa. En los países no industrializados, la biomasa sólida, que se sigue extrayendo principalmente de sus bosques naturales, supone al rededor del 30% de su energía primaria siendo en los más pobres la casi exclusiva fuente de energía. En los países desarrollados, la biomasa representa alrededor de un 5% de su energía primaria global, alcanzando valores por encima del 15% en países como Suecia, Finlandia y Austria. Whittaker en un estudio ya clásico, determinó el potencial de la biomasa en 68.080 Mtep/año, lo que supone, en la actualidad, más de cinco veces la energía primaria consumida en el mundo y unas cincuenta veces la obtenida de este recurso. En un estudio más reciente, Hall y Rosillo-Calle estiman que del potencial total de la biomasa menos de un 10%, en torno a 6.500 Mtep/año, es utilizable de forma sostenible para el medio ambiente y viable económicamente. Esta cifra es, no obstante, más de cuatro veces a la cantidad de energía primaria obtenida de la biomasa, por lo que se puede concluir que existe todavía un gran potencial del recurso para utilizar en un futuro. Este potencial puede verse además incrementado con el desarrollo de alternativas que determinen un incremento de la biomasa en la biosfera, como es el caso de los cultivos energéticos.

De acuerdo con la definición de biomasa y atendiendo a su origen se pueden distinguir:

- Biomasa natural. Se define así la que se genera en los bosques y ecosistemas naturales, tanto en forma de residuos, como de árboles y plantas que pueden servir para la obtención de energía.
- Biomasa antropogénica. Como su nombre indica, es aquella en cuya formación interviene el hombre. Es la biomasa residual (residuos forestales, residuos forestales industriales, residuos agrícolas, residuos agroindustriales y cultivos energéticos lignocelulósicos.)

1.2.- RECURSOS

Para hacer un estudio de los distintos tipos y poder evaluar su potencial energético haremos una clasificación de éstos, incluyendo en ello los cultivos energéticos por haber sido obtenidos en tierras de barbecho.

Bosques.



La única biomasa que, en la actualidad y en un grado importante, se aprovecha para fines energéticos es la de los bosques. Sólo puede constituir una opción buena en países donde la densidad territorial de dicha demanda es muy baja, así como también la de la población (Tercer Mundo). En España (por lo demás, país deficitario en madera), sólo es razonable el aprovechamiento energético de los desechos de la corta y saca y de la limpia de las explotaciones forestales (leña, ramaje, follaje, etc.), así como de los residuos de la madera. En este sentido, la oferta energética subyacente a las leñas ha sido evaluada en España en 2,5 Mtep anuales, partiendo de la base de que la producción de leña (en t/ha), es aproximadamente igual a la cuarta parte de la cifra al crecimiento anual de madera, (en m³/ha).

Residuos agrícolas, deyecciones y camas del ganado.

Constituyen otra fuente importante de bioenergía, aunque no siempre sea recomendable darles este tipo de utilidad. En España sólo parece indicado el uso para tal fin de la paja de los cereales, en los casos en que retirarla del campo no afecte apreciablemente a la fertilidad del suelo y, de las deyecciones y camas del ganado, cuando el no utilizarlas sistemáticamente como estiércol no perjudique las productividades agrícolas. Siguiendo este criterio, en España se ha evaluado una hipotética oferta energética anual de 3,7 Mtep procedentes de paja de cereales.

Cultivos energéticos.

El cultivo de vegetales para su aprovechamiento con fines energéticos es una opción poco rentable y su conveniencia es también muy discutida por la competencia que ejercerían con la producción de alimentos y otros productos necesarios como puede ser la madera. Las dudas aumentan en el caso de las regiones templadas, donde la asimilación fotosintética es inferior a la que se produce en zonas tropicales. Aún así, en España se ha estudiado de modo especial la posibilidad de ciertos cultivos energéticos, especialmente sorgo dulce y caña de azúcar, en ciertas regiones de Andalucía donde ya hay una tradición en el cultivo de estas plantas de elevada asimilación fotosintética. No



obstante, el problema de la competencia entre los cultivos clásicos y los cultivos energéticos no se plantearía en el caso de los cultivos acuáticos. Una planta acuática particularmente interesante desde el punto de vista energético sería el Jacinto de agua, que posee una de las productividades de biomasa más elevadas del reino vegetal (un centenar de toneladas de materia seca por hectárea y por año). Podría recurrirse también a ciertas algas microscópicas (micrófitos), que tendrían la ventaja de permitir un cultivo continuo. Así, el alga unicelular *Botryococcus braunii*, produce directamente importantes cantidades de hidrocarburos, en relación a su peso.

Interés de los cultivos energéticos.

Existen tres tipos de razones que justifican la existencia de un interés creciente en el desarrollo de estos cultivos. La primera y quizá más importante, común a todas las fuentes de energía renovables, es medioambiental y procede de la necesidad de actuar para frenar el cambio climático, reduciendo la emisión de los gases causantes del llamado efecto invernadero.

En 1997, dentro de la Tercera Conferencia de las Partes del Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, se redactó el documento llamado El Protocolo de Kioto [1], en el que, entre otras medidas, se abogaba por un uso eficiente de la energía así como por la investigación, desarrollo e incremento de la contribución de las fuentes de energía renovables.

Prácticamente de forma simultánea a la aparición de dicho documento, y con el propósito de lograr los objetivos en él establecidos, se publicó en el marco de la Unión Europea, la Comunicación de la Comisión “Energía para el futuro: Fuentes de energía renovables, Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios”. En él se establecía como meta, alcanzar una participación de las energías renovables en la producción de energía primaria del 12% para el 2010, implicando que cada estado miembro tenía que fomentar la utilización de las fuentes de energía renovables de acuerdo con su propio potencial

Según éste documento, para conseguir el objetivo mencionado, el mayor incremento en la contribución de las renovables sería el de la biomasa, que debería pasar de 44,8 Mtep en 1995 a 135 Mtep en 2010. Esto significaba un incremento equivalente a la producción de todas las fuentes de energía renovables en 1995. A este cuantioso aporte debían contribuir los cultivos energéticos con 45 Mtep de los cuales aproximadamente 18 Mtep



corresponderían a los biocarburantes y 27 Mtep a biomasa destinada a la producción de energía térmica y eléctrica.

En el ámbito nacional, el ya mencionado Libro Blanco de las Energías Renovables, preveía que, para el año 2010, se habrían dedicado a cultivos energéticos al menos un millón de hectáreas de secano semiárido (o en una superficie equiproductiva), de forma que la biomasa obtenida anualmente proporcionaría una cantidad de energía de 3.3 Mtep.

La segunda razón para fomentar la utilización de los cultivos energéticos es de tipo socioeconómico y está relacionada con la complicada situación por la que atraviesa el medio rural en algunas zonas, fundamentalmente relacionado con aspectos demográficos (despoblación, envejecimiento, etc.) y económicos (pérdida de poder adquisitivo, etc.), para las que este tipo de cultivos puede contribuir a solucionar o por lo menos a reducir su impacto.

Por último, debe añadirse una tercera razón que surgió a raíz de la crisis del petróleo de los años 70 y de la cual ya hemos hablado; es la necesidad de diversificar las fuentes de energía, para reducir la dependencia de los países productores de petróleo.

Requisitos de los cultivos energéticos.

Para que los cultivos energéticos sean rentables desde un punto de vista económico-energético, pudiendo competir con los combustibles fósiles y contribuyendo, a su vez, a paliar la problemática del medio rural, su explotación deberá tener la mayor eficiencia posible es decir obtener la mayor cantidad de energía química por unidad de superficie, con el menor coste y minimizando los impactos medioambientales. Estas características suponen una serie de requisitos que han de cumplir dichos cultivos y que se exponen a continuación:

- Ser interesantes para el agricultor (alta producción con bajos costes)
- Presentar una alta eficiencia fotosintética, con un gran crecimiento durante el ciclo vegetativo, obteniendo elevados rendimientos por cada unidad de tiempo en que el vegetal no se encuentra en parada vegetativa.
- Tener el ciclo vegetativo lo más largo posible. Dependerá de las características climáticas de la zona de cultivo y de los requisitos térmicos de la especie.



- Presentar una alta resistencia. Con este fin se deberán utilizar especies necesitadas de cuidados mínimos, que soporten bien la competencia de las malas hierbas y con una resistencia natural ante el ataque de plagas.
- No precisar para su cultivo maquinaria ni útiles diferentes de los cultivos agrícolas tradicionales ni de las explotaciones forestales.
- Ser especies perennes y vivaces, con capacidad rebrotadora. Al cortar el cultivo, la raíz o cepa seguirá viva, desarrollando a partir de ella un nuevo brote. Esto evita realizar las costosas operaciones de plantación o de siembra cada año, y los trabajos previos necesarios a éstas.
- Ser rentables para las industrias energéticas.
- Tener una elevada energía por unidad de masa (Poder Calorífico Superior, P.C.S.), que permita su aprovechamiento energético con bajos costes de manipulación y almacenamiento.
- Presentar una humedad baja, ya que el contenido de agua de un combustible reduce su P.C.S. o requiere de un coste extra para su secado.
- No ser agresivos con el medio ambiente.
- Tener unos requerimientos edáficos y climáticos similares a los cultivos en retirada, de forma que se puedan cultivar en los terrenos antes utilizados por éstos
- No suponer un peligro para el resto de la flora, siendo su propagación, fuera del área de cultivo, nula por su forma de diseminación o fácilmente controlable.

En aquellos casos en que es posible cultivar dos especies se estudiará cuál presenta una mejor eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes, de forma que se aprovechen al máximo los recursos hídricos. Se debe considerar también la producción de emisiones y residuos durante su cultivo (una especie resistente a la mayoría de plagas requerirá un menor consumo de productos fitosanitarios, químicos, gasóleo; de este modo, también se reducen las emisiones de CO₂ a la atmósfera por unidad de biomasa

2.-POTENCIAL ENERGÉTICO EN ESPAÑA. SITUACIÓN ACTUAL.

La biomasa es la fuente renovable de mayor potencial en España, cuantificándose los recursos en 25,7 Mtep, lo que equivale a una cantidad superior a todos los consumos energéticos de la industria española. Muy lejos de esta cifra, el consumo de biomasa en España ascendió a finales de 2004, a 4,2 Mtep. En la tabla 1 se observa que los sectores de mayor consumo en nuestro país son el doméstico, con casi la mitad del total, seguido

de los de pasta y papel, madera, muebles y corcho, alimentación, bebidas y tabaco. Entre los cuatro abarcan casi el 90% del total.

*Consumo de biomasa en España
desagregado por sectores (2004)*

SECTOR	TEP	%
Doméstico	2.056.508	49,4%
Pasta y papel	734.851	17,6%
Madera, muebles y corcho	487.539	11,7%
Alimentación, bebidas y tabaco	337.998	8,1%
Centrales de energía eléctrica (no CHP)	254.876	6,1%
Cerámica, cemento y yesos	129.013	3,1%
Otras actividades industriales	57.135	1,4%
Hostelería	30.408	0,7%
Agrícola y ganadero	21.407	0,5%
Servicios	19.634	0,5%
Productos químicos	16.772	0,4%
Captación, depuración y distribución de agua	15.642	0,4%
Textil y cuero	5.252	0,1%
TOTAL	4.167.035	

Tabla 1. Consumo de biomasa en España, por sectores.
Fuente: PER 2005-2010 (IDAE)

La evolución del consumo de biomasa a partir del año de referencia del Plan de Fomento (1998) muestra un crecimiento en términos cuantitativos hasta finales de 2004 de 538 ktep, concentrados fundamentalmente en la aplicación eléctrica. Sin embargo, estos datos resultan insuficientes comparados con el objetivo de crecimiento previsto en el Plan de Energías Renovables 2005-2010, que prevé llegar a los 9.629 ktep en 2010. Tomando como referencia aquél, el crecimiento del área durante el periodo 1999-2004 supone tan sólo un 9,0 % del fijado por el IDAE. Tabla 2.

	Años						2010
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	Objetivo
	227	236	302	516	644	680	5.311
	3.435	3.454	3.462	3.466	3.478	3.487	4.318
TOTAL	3.663	3.691	3.764	3.982	4.122	4.167	9.629

Tabla 2: Consumos térmicos (fila inferior) y eléctricos (fila superior) de biomasa en España y objetivos del PER 2005-2010 (tep).

Fuente: PER 2005-2010

En la figura 1 se refleja que, a pesar del notable desarrollo experimentado por la biomasa con aplicación eléctrica (se triplicó en 5 años), todavía se está muy lejos del objetivo fijado para el año 2010. Se indica, asimismo, la evolución del consumo de la biomasa para la generación de electricidad entre 1998 y 2004, así como el valor previsto para 2010, según el PFER 2005-2010.

Potencia eléctrica con biomasa y previsiones (MW)

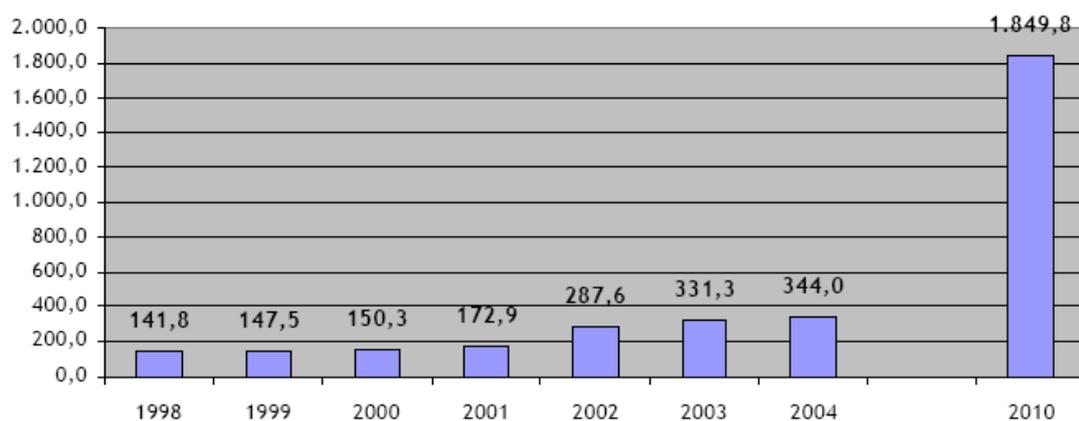


Figura 1. Evolución del uso eléctrico de la biomasa medida en potencia instalada, durante el período de vigencia del PFER 2000-2010.

Fuente: PER 2005-2010



3.-RESIDUOS

En general, los residuos se pueden definir como aquellos materiales obtenidos en las actividades de producción, transformación y consumo que no han alcanzado, en el contexto en que son generados, ningún valor económico.

Diariamente se producen ingentes cantidades de residuos, que no se aprovechan y contaminan el ambiente, tanto en las ciudades como en las zonas rurales. Teniendo en cuenta que la mayor parte de estos residuos son de carácter orgánico, es decir, constituyen la denominada biomasa residual, se comprende que puedan constituir un enorme potencial para la producción de energía.

En líneas generales, si se considera de forma conjunta toda la actividad humana, se puede estimar que se producen aproximadamente unas 2 toneladas de residuos de todo tipo por habitante y año, con un poder energético de unos 9.000 kWh/año, equivalente a unos 800 litros de gasolina. Por otro lado, y con respecto a las basuras urbanas, es de destacar que cerca de la mitad de su peso está constituido por materia orgánica, y su producción media por habitante y año oscila entre los 600 y los 800 kg, con un valor energético de unos 2.500 kWh/año. Se trata de un valor importante considerando que una familia media española gasta al año sólo en electricidad unos 3.000 kWh.

El tratamiento de los residuos, en general, es una actividad costosa y tanto las instituciones públicas como las empresas privadas no han llevado a cabo esta labor con eficacia, bien por falta de una legislación adecuada o por carencia de medios económicos. Todo ello está contribuyendo al deterioro del medio ambiente en grandes zonas de muchos países. Un estudio detenido del posible aprovechamiento de los residuos con fines energéticos en los lugares en que se producen presenta las ventajas que se enumeran a continuación:

- Los residuos forman parte de un tipo de biomasa que ya existe (no hay que producirla) y cuya eliminación es un problema grave y de solución costosa. .
- En muchos casos, la biomasa residual está concentrada en lugares determinados por lo que, si se utiliza cerca del sitio de acumulación genera unos costes de transporte muy reducidos.



- La utilización de los residuos para producir energía es de especial interés ambiental por la considerable reducción de su volumen, eliminación de plagas, incendios forestales y olores, mejora del paisaje y de la calidad del aire, agua y suelo.
- Algunos métodos de aprovechamiento de la biomasa residual presentan la ventaja adicional de generar productos ricos en nutrientes y, por tanto, susceptibles de ser utilizables como fertilizantes para fines agrícolas, lo que supone un ahorro en el consumo de energía y materias primas.

Se siguen varios criterios para clasificar los distintos tipos de residuos, entre los que cabe destacar la naturaleza de su origen (agrarios, industriales, urbanos) o los tipos de materiales que los constituyen (orgánicos, plásticos, metálicos, etc.). Sin embargo, y teniendo en cuenta que nuestro interés aquí se centra en los residuos orgánicos de la biomasa, se pueden considerar tres grandes sectores de actividades que los producen:

- El Primario: Residuos Agrarios. Agrícolas, Forestales y Ganaderos.
- El Secundario: Procedentes de transformaciones industriales (industrias agrarias): Residuos industriales.
- El del consumo humano: Residuos sólidos urbanos (fracción orgánica) y Aguas residuales (lodos de depuradora).

4.-LA CO-COMBUSTIÓN

Todos los problemas que presenta el uso de biomasa residual seca (disponibilidad, estacionalidad, transporte, etc.), están haciendo que el uso energético de la biomasa y, especialmente, en lo que a generación eléctrica se refiere, se encuentre muy por debajo del objetivo marcado por el Plan de Energías Renovables 2005-2010 que, si se cumpliera, supondría una potencia instalada en centrales eléctricas alimentadas con este recurso, de 1900 MW en 2010. Sin embargo si atendemos a datos publicados por el IDAE en 2004, la potencia total instalada de este tipo en España era tan solo de 308 MW.

La co-combustión consiste básicamente en sustituir, en centrales térmicas, un porcentaje del combustible convencional por biomasa. La viabilidad técnica de esta tecnología se encuentra ampliamente probada, como lo demuestran las numerosas experiencias llevadas a cabo tanto en EEUU como en Europa entre las que cabe destacar la Central Térmica de Studstrup en Dinamarca, que lleva produciendo electricidad mediante la

combustión conjunta de carbón y biomasa desde 1996. La central, de 150 MWe, está utilizando paja de cereal con un grado de sustitución del 10% en energía a pleno rendimiento desde 2002. En nuestro país no está tan desarrollada como en otros, aunque ya se han llevado a cabo varios trabajos de investigación y proyectos que procedo ahora a enumerar, algunos de los cuales ya son anteriores al PER 2005-2010 y reflejan el apoyo paulatino por parte de los poderes públicos a esta tecnología:

- Inclusión en el Régimen Especial de producción eléctrica
- Inclusión en las actuaciones de fomento de nuevas actividades económicas de las zonas de reconversión minera del carbón
- Establecimiento de contactos con las C.T de carbón con el fin de impulsar los correspondientes estudios de viabilidad
- Realización de un estudio lo más completo posible del potencial de biomasa en los alrededores de las C.T. de carbón
- Análisis de las tecnologías de co-combustión y su idoneidad para cada C.T convencional

En la figura 2 podemos ver la distribución geográfica de dichas instalaciones a escala mundial.

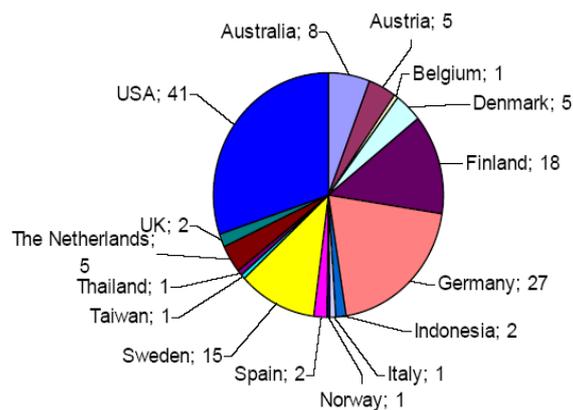


Figura.2: Distribución de las instalaciones de co-combustión a escala mundial.

Fuente: GCEP Advanced Coal Workshop. (2006)



4.1.- INTERÉS DE LA CO-COMBUSTIÓN PARA FOMENTAR EL USO DE LA BIOMASA.

La co-combustión ofrece las mismas ventajas ambientales y socioeconómicas asociadas a la generación de energía con biomasa que las centrales alimentadas exclusivamente por este combustible renovable (como el balance neutro o hasta negativo de CO₂ o la reducción de las emisiones de SO_x debido al bajo contenido de azufre de la biomasa) y las que seguidamente se consideran:

- **Generación de energía eléctrica con un rendimiento superior.**

La baja densidad habitual de los recursos biomásicos implicaría que, para lograr potencias eléctricas significativas, su recogida debería abarcar un área demasiado extensa, lo que es inviable debido a los altos costes de transporte que ello supondría. Por lo tanto, y por una simple cuestión de economía de escala, los promotores de una planta de biomasa se ven obligados a decidir entre conseguir un rendimiento elevado a un alto coste por kW instalado, o reducir esta inversión a costa de hacerlo también con el rendimiento. Esta última opción es la mayoritariamente elegida para poder asegurar la viabilidad económica del proyecto. Así, en una planta de biomasa (usualmente de potencia inferior a 25 MWe) se obtienen rendimientos que difícilmente alcanzan el 30%, frente a las centrales de co-combustión en las que se produce energía eléctrica en una gran instalación (100-500 MWe), con rendimientos del orden del 32-36%.

- **Disminución de la inversión específica por unidad de potencia instalada.**

Se aprovecha la existencia de la planta de carbón y de gran parte de la infraestructura existente (ciclo de vapor, sistemas eléctricos, sistema de refrigeración y, al menos, parte de la caldera) y sólo son necesarias las inversiones requeridas para adaptar la planta a la utilización del nuevo combustible como pueden ser instalaciones de pretratamiento de la biomasa.

-

flexibilidad en la operación.

Dicho de otro modo, no se depende de la estacionalidad o de la disponibilidad del recurso; la central se puede adaptar fácilmente a la cantidad de biomasa que exista en cada momento, lo que permite garantizar tanto la viabilidad económica como la medioambiental del aprovechamiento cuando se consideran parámetros como la estacionalidad, las disminuciones de productividad por cuestiones climáticas, etc.

De esta manera, la co-combustión se convierte en una manera sencilla y económica de aumentar a corto plazo el consumo de biomasa en detrimento de los combustibles fósiles y se convertiría, pues, en una alternativa interesante para que, a corto plazo, se aumentase la generación de energía con biomasa, lo que facilitaría el cumplimiento de los objetivos internacionales adquiridos (por ejemplo, el compromiso de Kioto) al reducir el impacto medioambiental de la generación de electricidad en las centrales térmicas de carbón (debido al uso de biomasa se reducirían las emisiones de CO₂, SO₂, etc.), y como consecuencia, al ser una medida íntimamente ligada a los Derechos de Emisión (RD 5/2004 de 27 de agosto y RD 1866/2004 de 6 de septiembre), sería interesante para el propio sector eléctrico.

Además, los beneficios hasta ahora apuntados van acompañados por otros no menos importantes que no deben ser olvidados: generación de mano de obra directa en las plantas de co-combustión y en el sector agroforestal, así como indirecta en el sector industrial (una gran parte de la tecnología podría ser de origen nacional); creación de mercado y asentamiento del nivel de precios de la biomasa; desarrollo o afianzamiento de las redes de distribución de estos recursos lo que derivaría en la reducción de riesgos para futuras instalaciones; y finalmente, la posibilidad de dotar de mayor rentabilidad a los tratamientos silvícolas, cumpliendo con los turnos de podas, clareos y claras necesarios para el saneamiento y el desarrollo óptimo de las masas forestales

No obstante, esta tecnología también tiene, en comparación con una planta de biomasa, ciertos inconvenientes e incertidumbres que se tratan a continuación:

-

de operación.

Costes



En general, los pretratamientos de la biomasa para co-combustión son más costosos (en instalaciones y en operación) sobre todo, en el caso de introducirse en una central térmica de carbón pulverizado. No obstante, este incremento de costes puede compensarse, al menos parcialmente, debido a que las centrales de carbón ya cuentan con personal especializado, lo que hace que el incremento del coste en mano de obra sea reducido.

- **Incertidumbre del comportamiento de la caldera frente a una mezcla de combustibles para la que no ha sido diseñada.**

Además, aunque el concepto de co-combustión es relativamente sencillo y ya ha sido probado con gran éxito en varias centrales de la UE y de USA, existen ciertos aspectos (pretratamientos óptimos, lugar de introducción de la biomasa, etc.) que deben estudiarse con detalle para cada caso: tipo de caldera, de carbón y de biomasa. Con respecto al primero de ellos, y aunque la co-combustión puede aplicarse a todo tipo de centrales térmicas, sus mayores posibilidades se encuentran en las que tienen instaladas calderas de combustible pulverizado, no por cuestiones técnicas sino por ser este tipo de tecnología la más extendida. En estas calderas, el carbón se introduce finamente pulverizado y con un contenido de humedad reducido, consiguiéndose elevados rendimientos con tiempos de residencia del combustible muy bajos. Esto impone una serie de requisitos similares a la biomasa, que, por consiguiente, debe someterse a unos pretratamientos, que aunque dependen de cada caso, consisten principalmente en:

- Secado (natural o forzado), para reducir su contenido de humedad, generalmente hasta valores del 10-20%.
- Molienda, para reducir su tamaño de partícula, habitualmente hasta granulometrías no superiores a 3-4 mm.

Con respecto al tipo de carbón, en el caso de España es especialmente interesante el análisis de la co-combustión en centrales térmicas que utilizan los denominados carbones de bajo rango, dado que este tipo de combustible es muy abundante en nuestro territorio. La inmensa mayoría de experiencias de co-combustión se han realizado con carbones

que presentan una densidad energética (kJ/m³) muy superior a la de la biomasa. Sin embargo en los carbones de bajo rango, es muy parecida a la de los principales tipos de biomasa. Tabla 15 Esta similitud entre ambos combustibles puede suponer un abaratamiento considerable de la inversión necesaria para adaptar la central, puesto que existe la posibilidad de aprovechar para la biomasa algunos sistemas diseñados para la alimentación del carbón a caldera, principalmente, los quemadores. Adicionalmente, se consigue introducir la biomasa, de una forma muy sencilla, al centro de la llama generada por el carbón, por lo que es técnicamente viable utilizar un tamaño de partícula superior. Esto supone una reducción de los costes de pretratamiento con respecto a otros tipos de co-combustión.

En la figura 3 queda patente la similitud en cuanto a poder calorífico entre biomasa y carbón de bajo rango.

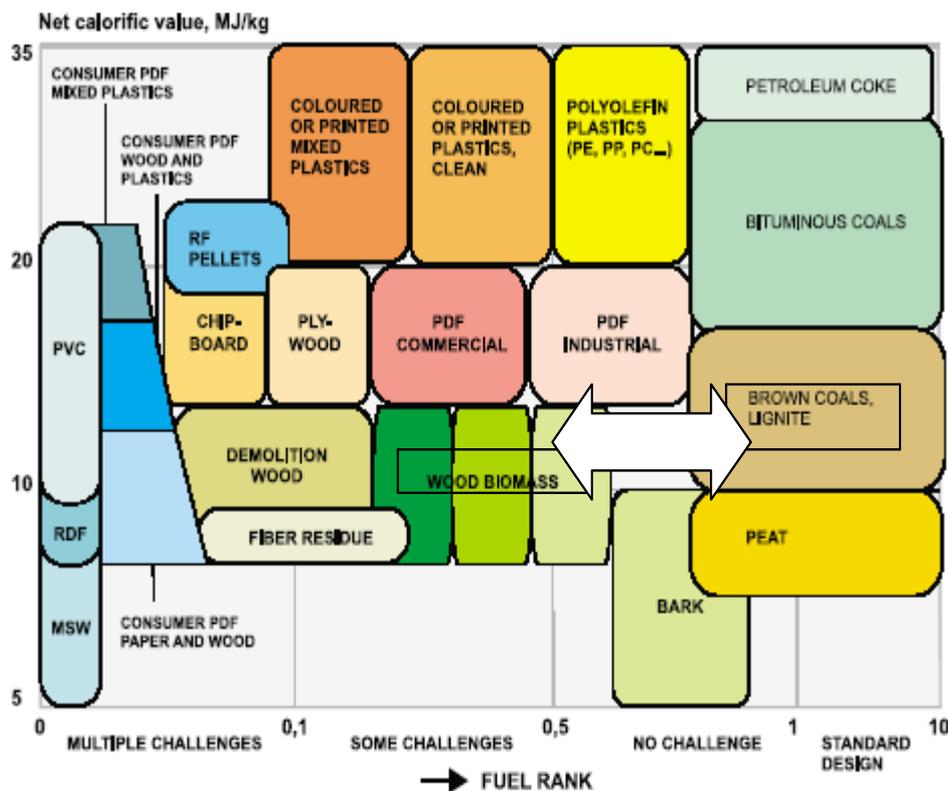


Figura 3: Poder calorífico inferior de los combustibles sólidos.

Fuente: Biomass cofiring, European bioenergy networks. (2003)



4.2.-TECNOLOGÍAS DE CO-COMBUSTIÓN.

La co-combustión es aplicable a todos los tipos de calderas de potencia que tradicionalmente utilizan combustibles fósiles aunque, evidentemente, cada tipo requiere de una tecnología de adaptación diferente. Básicamente, hay tres opciones:

- Co-
combustión directa. Consiste en la combustión de la biomasa junto con el combustible fósil (carbón) en el mismo hogar.
- Co-
combustión indirecta. Supone la combustión del combustible fósil con la biomasa previamente gasificada.
- Co-
combustión paralela. Requiere, al menos, dos hogares para quemar los dos combustibles de forma independiente.

4.3.-PROBLEMAS TÉCNICOS DE LA CO-COMBUSTIÓN.

La co-combustión, supone incorporar en la caldera un nuevo combustible de distinta naturaleza que el carbón y por tanto con otra composición elemental que le confiere otro comportamiento durante la combustión, lo que supone problemas tecno-económicos y regulatorios a la hora de operar y que hace imprescindible un estudio detallado y una fase experimental previa. Los problemas más frecuentes son:

- Erosión y corrosión de la caldera debido a la composición de los gases y cenizas
- Escoriación en tubos
- Pérdida de rendimiento (mas o menos 1% por 10% de sustitución según la empresa eléctrica Iberdrola)
- Contaminación de cenizas (perdida de valor para la venta)
- Incremento de inquemados
- Mayor velocidad de formación de depósitos
- Dificultades en la molienda y la clasificación
- Menor estabilidad de la combustión
- Sistema de almacenamiento (espacio, olores...)
 - Garantía de suministro constante
- Autoconsumos eléctricos



- Elevada inversión inicial necesaria (aunque menor que para combustión de biomasa exclusivamente)
- Incremento de los costes de operación y mantenimiento

5.-CONCLUSIONES

Si no hay cambios sustanciales en la tendencia mostrada hasta la fecha, llegando al final del período de vigencia del Plan de Energías Renovables no parece que se vayan a cumplir los objetivos relativos a la producción de electricidad mediante la biomasa. Sólo puede invertirse esta tendencia la consolidación de los sistemas de generación que, en la actualidad, se están desarrollando, la utilización de nuevas tecnologías, la creación de nuevos mercados dotados tanto de una logística del abastecimiento con cadenas de distribución que permitan vencer algunas de las barreras asociadas a la biomasa y, especialmente, el apoyo decidido de la Administración (que se refleja en la ley 24/2005 'Reformas para el impulso de la productividad') y de todos los sectores implicados en el proceso.

La aplicación de la co-combustión al parque de centrales de carbón español, una tecnología de posible desarrollo nacional y cuya viabilidad está avalada por su amplia implantación en otros países, es una de las alternativas existentes para conseguir los objetivos del Plan. En cuanto al uso como combustible de la biomasa residual seca disponible en un radio de 50 km entorno a cada central y teniendo en cuenta las consideraciones ya apuntadas, se ha estimado que el potencial total final de energía aportada por la biomasa superaría los 4.500 GWh anuales, de los que 1500 GWh serían eléctricos. De este modo se lograría duplicar la generación actual a partir de esta fuente de energía y acercarse un poco más a los objetivos marcados para 2010. Este potencial podría ser incluso más elevado si se tuvieran en cuenta, además de la biomasa evaluada, los residuos provenientes de las empresas agroalimentarias y de la transformación de la madera, así como, los recursos procedentes de los cultivos energéticos.

Desde un punto de vista meramente económico parece claro que, para que el aprovechamiento definitivo de este potencial pudiera ser efectivo, la generación de un porcentaje de electricidad de origen renovable en las centrales de carbón debería ser, al menos, igual de interesante que operar exclusivamente con el combustible fósil. En la



actualidad, la co-combustión puede dar lugar a primas específicas para cada instalación no publicadas hasta el momento y por lo tanto su viabilidad económica es posible pero difícil de estimar. Sin primas, ni tan siquiera cuando se tienen en cuenta 10 euros por tonelada de CO₂ como el precio de mercado de cada derecho de emisión, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero que supondría para las centrales de carbón la implantación de la co-combustión, compensaría el incremento de costes que conlleva, por lo que no parece que este incentivo sea suficiente para que esta tecnología se incluya entre las medidas que adopte en el futuro el sector eléctrico de carbón.

Sin embargo, la inclusión de la co-combustión en el régimen especial, que ya recoge la ley 24/2005 del 18 de noviembre “Reformas para el impulso de la productividad” en su artículo tercero y que establece una prima que complemente el régimen retributivo de las instalaciones de producción de energía eléctrica de orden térmico que utilicen biomasa como combustible secundario, supone que esta tecnología pueda ser sumamente competitiva.

Todo ello podría desembocar en una mayor participación de la biomasa en el mercado eléctrico español, lo que no sólo incrementaría directamente la generación de energía eléctrica de origen renovable, sino que también contribuiría a vencer muchas de las barreras que frenan el desarrollo de esta fuente de energía, que indirectamente a su vez, podría traducirse en un mayor fomento de las inversiones en otro tipo de instalaciones basadas en estos combustibles.

La tecnología de co-combustión no es la solución para potenciar la contribución de la biomasa en el sector energético español, pero podría ser un pilar fundamental en el aprovechamiento de los recursos autóctonos, mejora ambiental, desarrollo socioeconómico y reducción de los gases de efecto invernadero asociados a la generación de energía.

6.- LA CENTRAL TÉRMICA DE LA PEREDA. PLANTA DE DEMOSTRACIÓN DE LECHO FLUIDO DE LA U.E: APLICACIÓN A LA CO-COMBUSTIÓN.

La central térmica de La Pereda, propiedad de HUNOSA, se encuentra en el Concejo de Mieres, Asturias. Es una central térmica de lecho fluido circulante atmosférico incluida en el régimen especial que se puso en marcha a principios de los años 90 con unos objetivos



bien claros como son, la valorización energética de las numerosas escombreras de las explotaciones mineras de la cuenca del Caudal y así la eliminación de problemas medioambientales ligados a estas últimas (autoignición, lixiviados..), la liberación de suelo, la creación de puestos de trabajo y, como consecuencia de la tecnología seleccionada, la reducción de emisiones de SO_2 y NO_x , principales responsables de la lluvia ácida. Para entender cómo se pretendió hacer frente a estos desafíos hablemos, en un primer momento, de las características generales de las calderas de lecho fluidizado. En ellas la combustión se produce de forma controlada en todo el hogar y sistema de recirculación (ciclones), de forma que el tiempo de residencia de las partículas en ignición es muy superior al de las calderas convencionales de carbón pulverizado, con temperaturas que no suelen superar los 850°C , valores muy inferiores a los que se alcanzan en las convencionales lo que impide el ablandamiento y fusión de cenizas con lo que no se producen fenómenos de formación de escorias en el hogar. Esto permite la utilización de combustibles pobres, de bajo poder calorífico como son, los estériles ya mencionados, y asegura una gran flexibilidad desde el punto de vista de utilización de otros combustibles distintos del de diseño, facilitando la implantación de una co-combustión. La reducción de emisiones de NO_x se debe a la baja temperatura de trabajo mientras que el SO_2 se elimina en gran parte en forma de sulfato cálcico con las cenizas mediante adición de caliza a la caldera.

Por otra parte la Pereda es muy interesante ya que se convirtió recientemente en una central de ensayos de los grandes proyectos de investigación que lidera Asturias sobre captura de CO_2 , biomasa y emisiones de mercurio procedentes del carbón. A la cabeza de todos estos estudios está Hunosa, que ha cerrado acuerdos con los centros de investigación de la región como son el Instituto Nacional del Carbón (INCAR), dependiente del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), y la Fundación Asturiana de la Energía (FAEN). Ello permitirá a la empresa ocupar un puesto relevante en el desarrollo de estas tecnologías así como ampliar su diversificación.

En lo que corresponde a la biomasa, tema principal de este trabajo, podemos decir que el proyecto fue impulsado por la Fundación Asturiana de la Energía (FAEN), con sede en el concejo. Este proyecto tuvo por objeto estudiar la potencialidad maderera de Asturias y optimizar el sector, con actividades tales como la producción de energía a través de la biomasa o la fabricación de maquinaria forestal rentable con el fin de mejorar el aprovechamiento del monte y reducir los riesgos de incendios.



En cuanto al proceso de co-combustión, la central de La Pereda cumplió un papel importante ya que en ella se hicieron las primeras pruebas utilizando biomasa, carbón y estériles en una mezcla de bajo poder calorífico de las siguientes proporciones: 59,8% de estériles de escombrera, un 35,3% de carbón bruto y 4,9% de residuos de madera con caliza como sorbente. En la actualidad el combustible utilizado es una mezcla binaria 60% estéril y 40% carbón.

En esta parte práctica del proyecto, se procederá en primer lugar a una descripción detallada de la central así como de su funcionamiento. Luego se hará un estudio exergético del generador de vapor y de la planta en función del contenido de biomasa de las mezclas del combustible. Finalmente, se evaluará la viabilidad económica de la utilización de la co-combustión en la central y el potencial de abastecimiento en biomasa en torno a ella. Este estudio se hizo posible gracias a los datos reales facilitados por Hunosa.

6.1.- LA CALDERA. BALANCE ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO DE LA CALDERA

Las pérdidas de energía, salvo las incontroladas, son físicamente localizables en flujos de materia o calor (radiación), que abandonan la caldera.

Los flujos de energía en el generador de vapor quedan representados en la figura 4

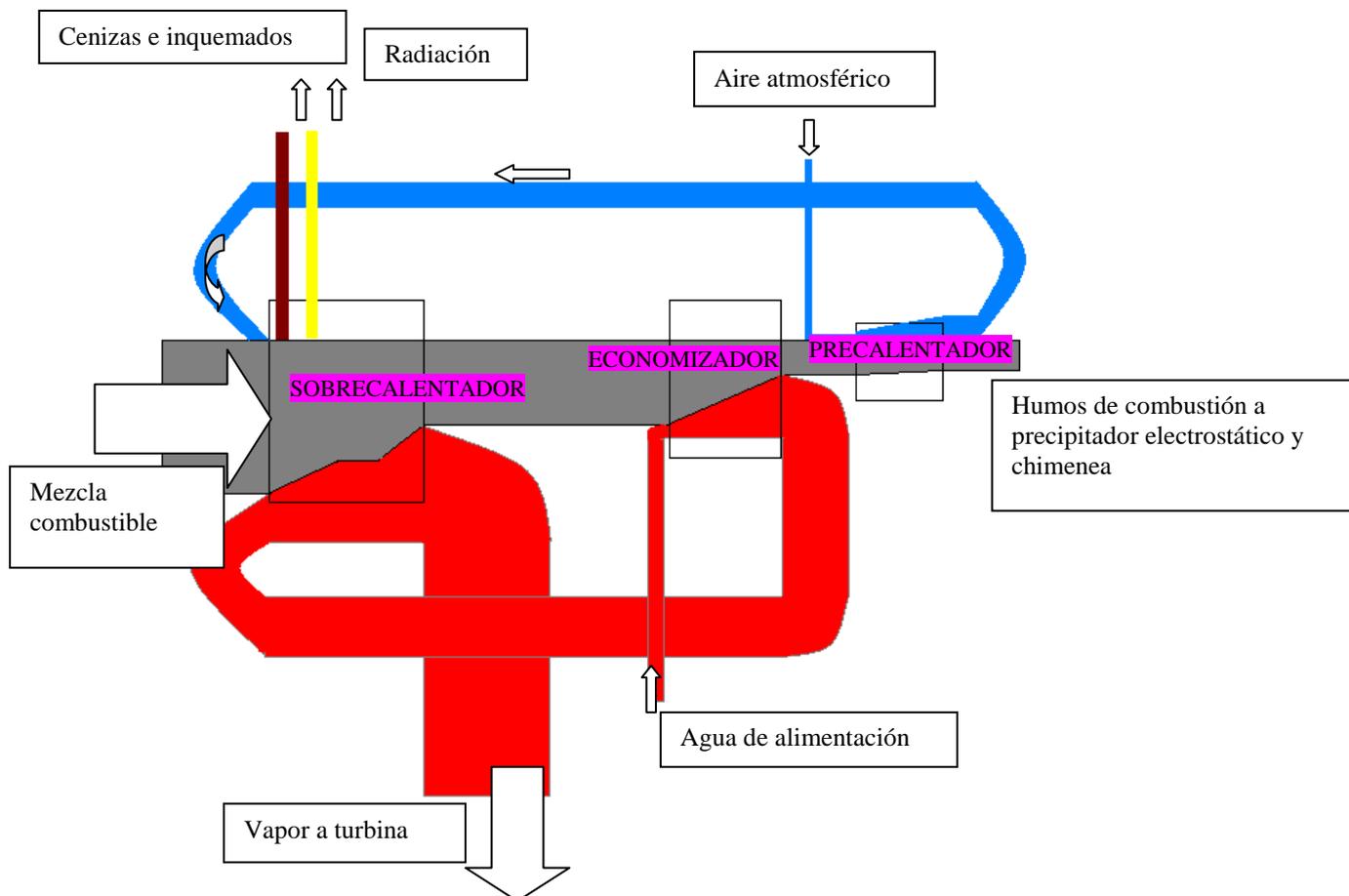


Figura 4. Flujos de energía en la caldera. Elaboración propia.

El balance de energía es el siguiente:

Energía contenida en el combustible ($m_{\text{comb}} \cdot \text{PCI}$) = Energía suministrada a los fluidos de trabajo (aire y agua) + pérdidas

Las pérdidas de energía en la caldera pueden clasificarse así:

- Inquemados en residuos.
- Calor sensible en cenizas.
- Pérdidas en humos (inquemados gaseosos, calor sensible en gases secos, calor sensible en el vapor de agua del aire de combustión, calor sensible del vapor de agua procedente del hidrógeno y de la humedad del combustible. Esta última tiene gran

importancia en el caso que estudiamos ya que los residuos forestales usados se caracterizan por tener un alto grado de humedad, entre un 30 y un 50%.)

- Pérdidas por radiación.
- En los procesos reales de transferencia de energía hay degradación de energía útil que se mide por el grado de irreversibilidad con el que se produce.

En este apartado, se tratará de cuantificar dichas irreversibilidades o pérdidas de exergía en:

La zona de combustión y transferencia de calor al vapor (subregión I)

La zona de transferencia de calor al aire primario (subregión II)

La zona de salida de humos (chimenea) (subregión III)

Las subregiones consideradas anteriormente, quedan especificadas en el esquema del generador de vapor de la figura 5:

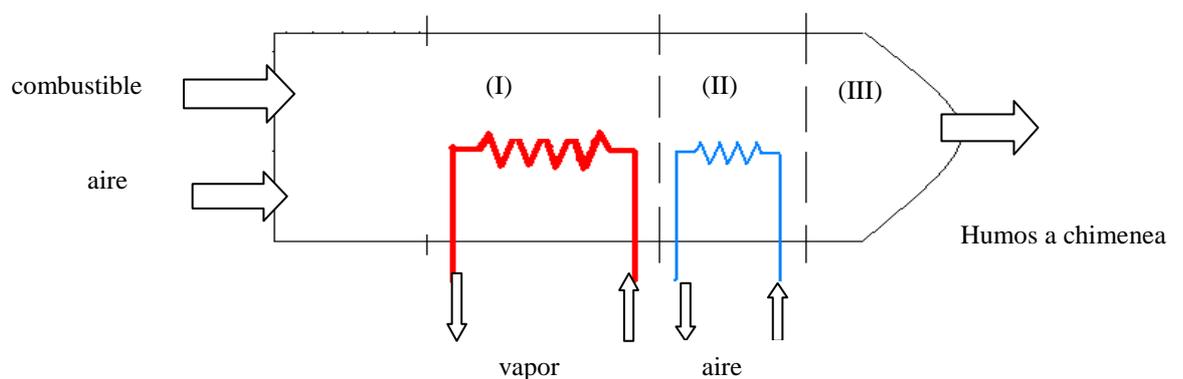


Figura 5. Esquema del generador de vapor. Elaboración propia.

Al determinar los valores relativos a la irreversibilidad global para cada una de las zonas del generador de vapor, se observa que en el hogar, se pierde la mayor cantidad de energía útil.

$I_I(\%)=77\%$ (La pérdida de exergía mas significativa se produce durante la combustión)

$I_{II}(\%)=13\%$

$I_{III}(\%)=10\%$

A partir de los valores relativos de las irreversibilidades respecto de la exergía del combustible, se llega a la misma conclusión..

$I_I(\%)=48\%$ (casi la mitad de la exergía introducida se pierde durante la combustión y transferencia de calor al vapor).

$I_{II}(\%)=7\%$

$I_{III}(\%)=6\%$

Los diagramas de flujos de exergías, uno de los cuales es el de Grassmann, se indican en las figuras 6 y 7 respectivamente.

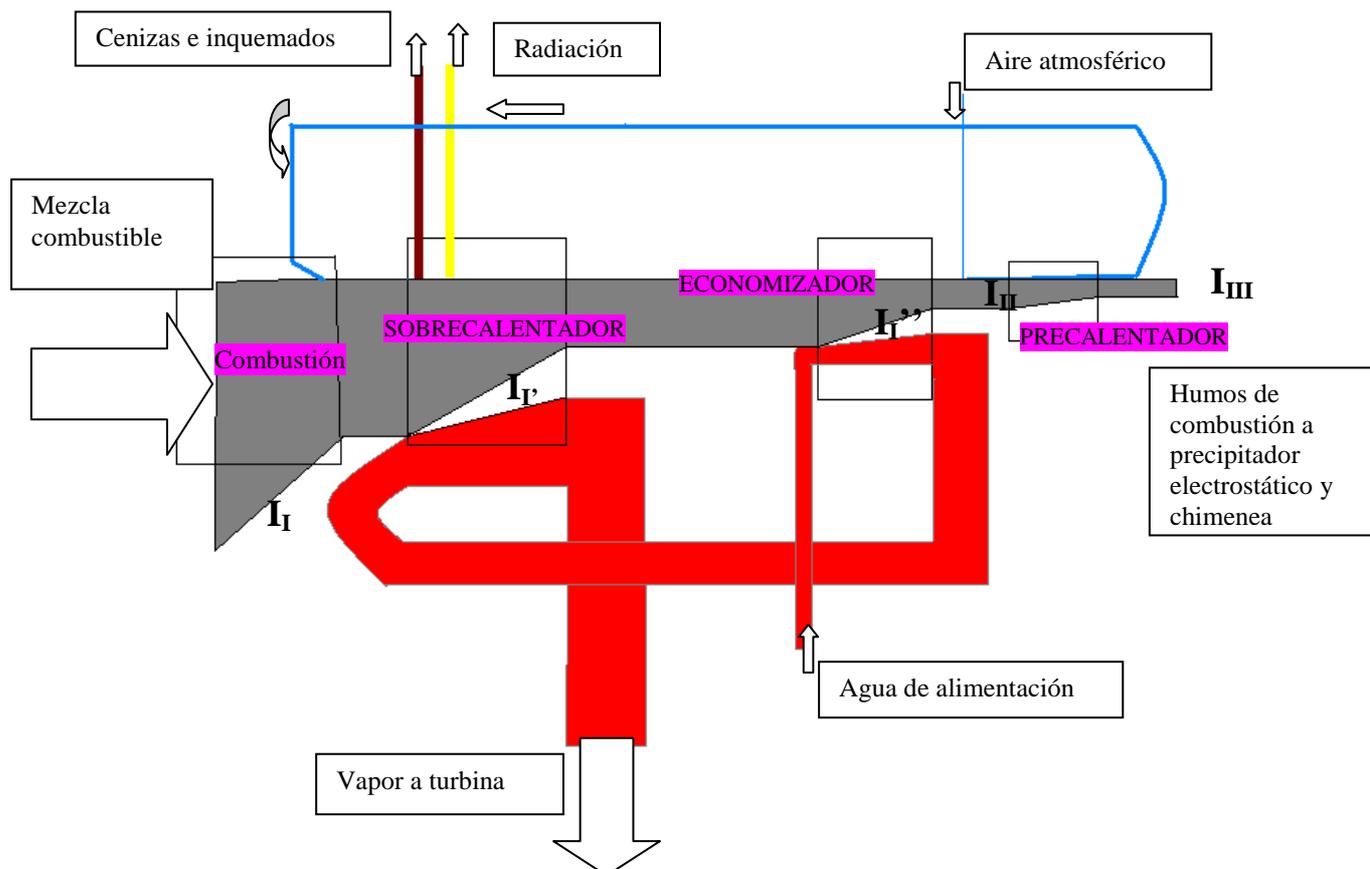


Figura 6. Diagrama de flujos de exergías. Elaboración propia.

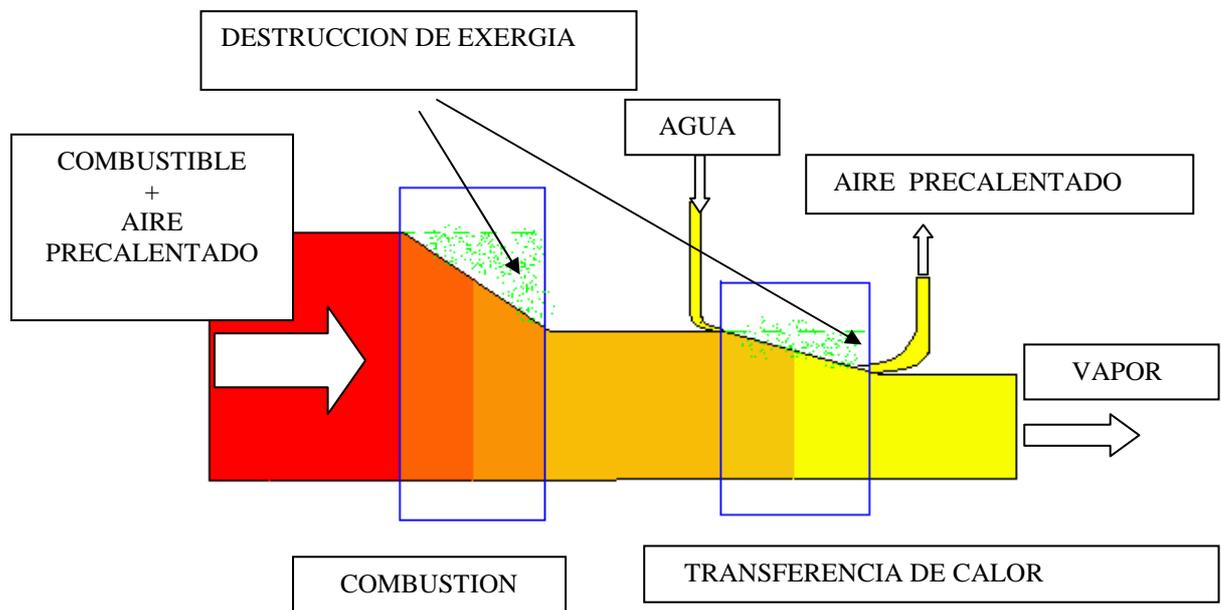


Figura 7. Diagrama de Grassmann. Elaboración propia

6.1.1.-.-Influencia de la biomasa sobre el rendimiento exergético

En este apartado se trató de calcular el rendimiento exergético global del generador de vapor para distintos porcentajes de madera en la mezcla combustible. Para mantener los parámetros en cuanto a caudal de vapor tratado y condiciones de este último, tuvimos en cuenta la pérdida de rendimiento energético de la caldera estimada en un 1% por cada 10% de sustitución por biomasa, con lo cual consideraremos mezclas de poder calorífico inferior crecientes e iguales a $2080 \text{ kcal/kg} \cdot (1 + \% \text{madera}/1000)$.

De esta manera, si fijamos la fracción de biomasa, x (en tanto por uno), podemos establecer un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas (y, z):

$$\begin{cases} x.PCI_{madera} + y.PCI_{estéril} + z.PCI_{carbón} = 2080 \text{ kcal/kg} \cdot [1 + \%madera/1000] \\ x + y + z = 1 \end{cases}$$

Como cabía esperar, al aumentar el porcentaje de madera con una relación ‘exergía química/NCV’ mayor que el carbón y el estéril (para la biomasa exergía química/NCV = 1,54, para el carbón 1,07 y para el estéril 1,14) aumenta más la exergía química de la mezcla combustible que su poder calorífico. Al mantener constantes las condiciones de entrada y salida del vapor de la caldera, no se modifica la ganancia exergética de este último y disminuye, como consecuencia, el rendimiento exergético global. Esta tendencia de decrecimiento lineal, obtenida a partir de los datos calculados, se refleja en la gráfica de la figura 8.

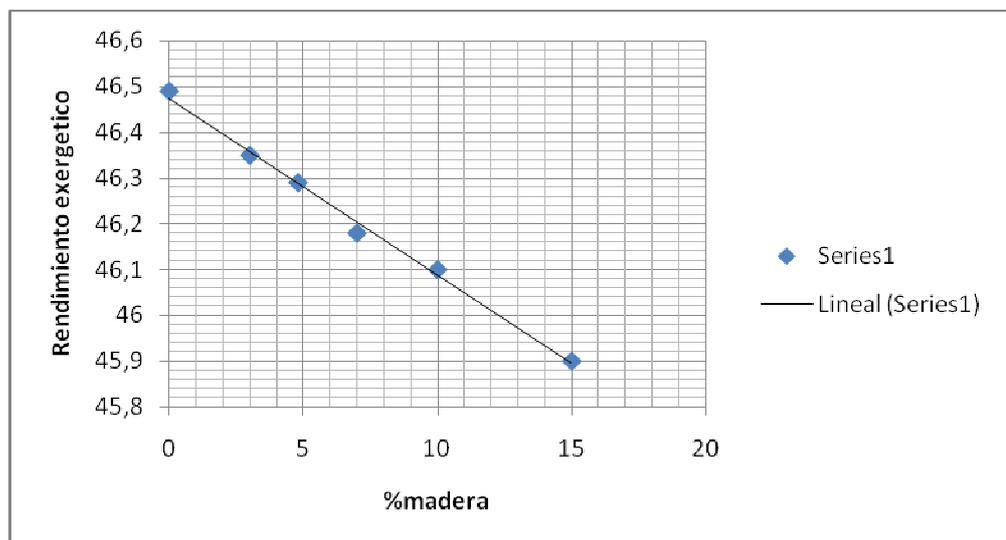


Figura 8. Variación del rendimiento exergético en función del porcentaje de madera. Elaboración propia.

6.2.- LA PLANTA. ANÁLISIS ENERGÉTICO Y EXERGÉTICO GLOBAL.

A continuación se muestran los diagramas de energías (Sankey) y exergías (Grassman) de la Central Térmica, en los cuales se pueden apreciar los principales focos de pérdidas de exergía en la combustión y la transmisión de calor y de energía en el condensador y los gases de escape.

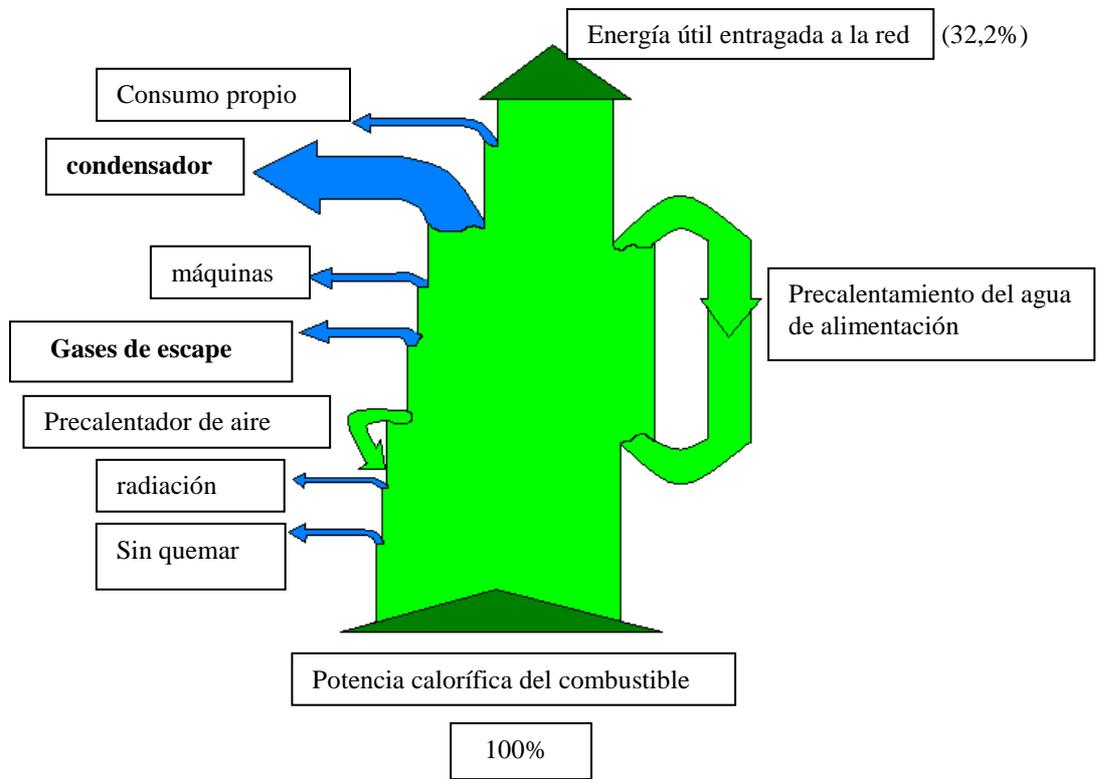


Figura 10. Diagrama de Energías de la planta. Elaboración propia.

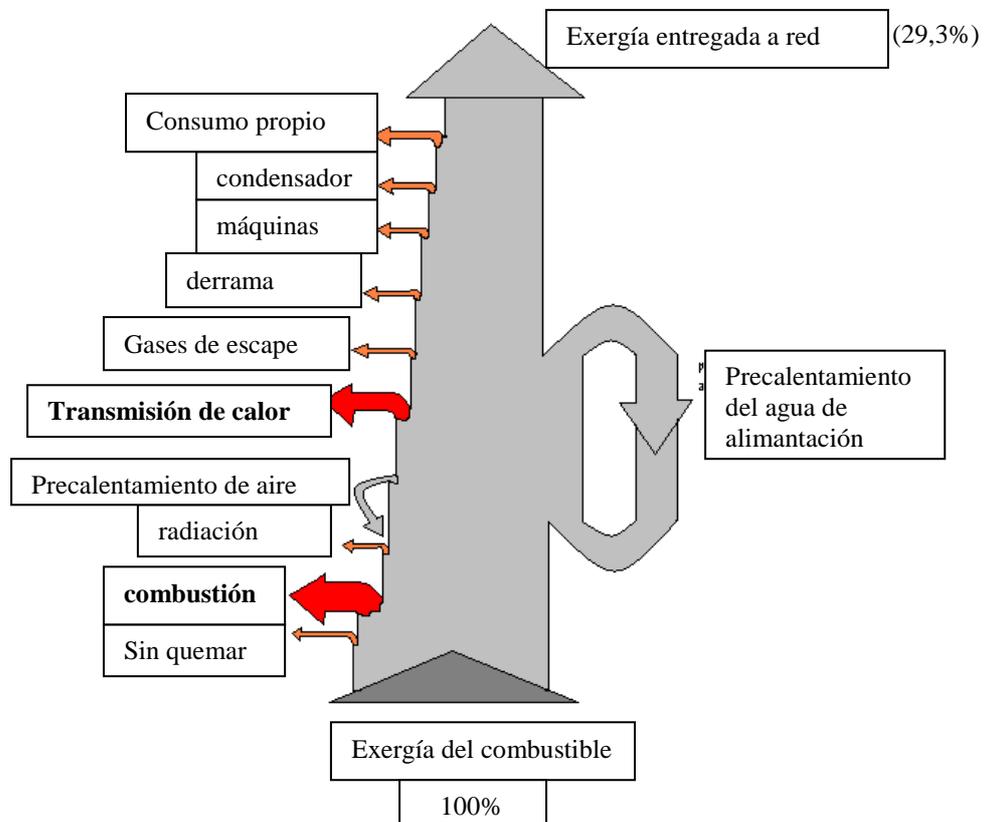


Figura 11. Diagrama de exergías de la planta. Elaboración propia.

6.2.1.- Influencia de la biomasa sobre el rendimiento exergético global

Como hicimos anteriormente para la caldera, pudimos estudiar la variación del rendimiento exergético global de la planta en función del porcentaje de biomasa en la mezcla. Si se adecúan los porcentajes para obtener un PCI de la mezcla que compense la pequeña pérdida de rendimiento, la potencia real entregada a la red será la misma y sólo variará la exergía química del combustible.

Esta tendencia de decrecimiento lineal, obtenida a partir de los datos calculados, se refleja en la gráfica de la figura .

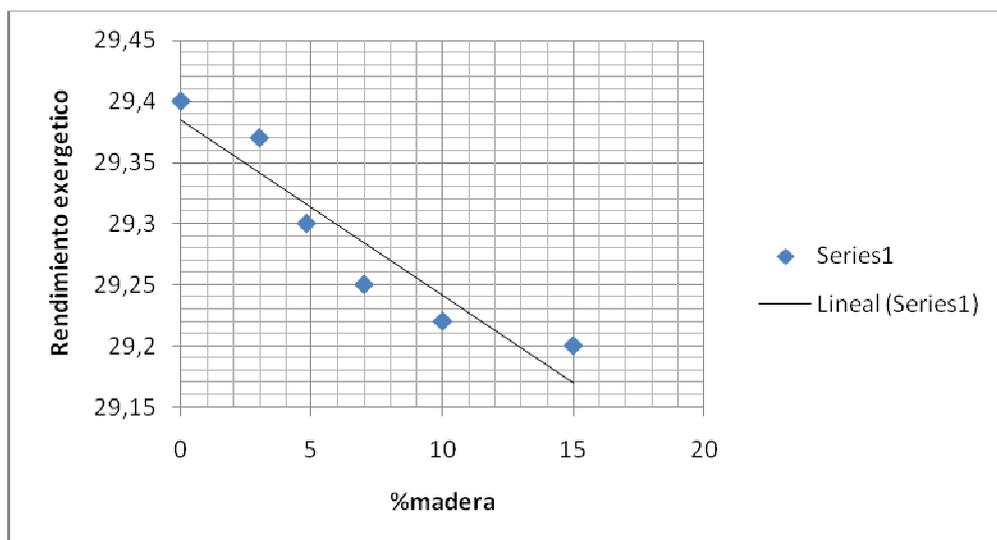


Figura 11. Variación del rendimiento exergético de la planta en función del porcentaje de madera. Elaboración propia.

6.3.- ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA INCORPORACION DE BIOMASA.

Por otra parte, estudiamos desde un punto de vista más económico la adición de madera en el caso particular de la Central Térmica de la Pereda. Para ello, considerando la inversión inicial despreciable o con un periodo de amortización muy reducido, lo que es totalmente asumible puesto que, el lecho fluido circulante no requiere un secado especial ni un pulverizado (sólo serían necesarios una astilladora y un separador

electromagnético), debimos tener en cuenta dos parámetros fundamentales. Primero, el aumento del coste de abastecimiento de la materia prima que supone la sustitución del carbón y estériles por residuos forestales en la mezcla combustible, ya que la biomasa (35 euros/t) es más cara que el carbón (12 euros/t) o los estériles (8 euros/t). Y, segundo, el valor económico de las toneladas de dióxido de carbono provenientes de la combustión de dicha madera consideradas como emisiones a la atmosfera evitadas, como ya es sabido. Lógicamente, ciñéndonos a un balance económico sencillo, podremos decir que esta adición sería rentable en el caso de que el valor del CO₂ fuese mayor que el sobre coste de abastecimiento que supone. Se hará el cálculo para dos precios de la tonelada de CO₂, 20 euros que se aproxima al valor máximo de cotización, 0,73 euros que es el valor actual a fecha 5 de Marzo de 2008 según el Ministerio de Industria y un tercero ficticio de 30 euros. Las posibles primas por co-combustión que contempla el RD 661/2007 no se tienen en cuenta puesto que la Central de La Pereda ya esta incluida en el Régimen Especial.

Las toneladas de CO₂ debidas a la biomasa se obtienen con un balance de materia al carbono, considerando una combustión perfecta, ya que el porcentaje de CO en los humos es despreciable (menos de 0,1%). Este balance de materia sería, pues, tomando como referencia una hora de funcionamiento a plena carga:

$$58000 \text{kg}_{\text{mezcla}} \left(x \frac{\text{kg}_{\text{biomasa}}}{\text{kg}_{\text{mezcla}}} \right) \cdot \left(y \frac{\text{kg}_{\text{C}}}{\text{kg}_{\text{biomasa}}} \right) \left(44 \frac{\text{kg}_{\text{CO}_2}}{12 \text{kg}_{\text{C}}} \right) = (\text{kg}_{\text{CO}_2})_{\text{humos}_{\text{biomasa}}}$$

Siendo *x* e *y* las fracciones másicas de biomasa en la mezcla y de carbono en la biomasa respectivamente.

El coste suplementario (CS) de abastecimiento de las mezclas consideradas respecto del de una mezcla binaria de estériles y carbón bruto se obtiene del siguiente modo:

$$\text{CS} = 58 t_{\text{mezcla}} \left[\left(x \frac{\text{kg}_{\text{biomasa}}}{\text{kg}_{\text{mezcla}}} \right) \cdot 35 \text{€}/t_{\text{biomasa}} + \left(y - g \right) \frac{\text{kg}_{\text{esteril}}}{\text{kg}_{\text{mezcla}}} \cdot \text{€}/t_{\text{esteril}} + \left(z - h \right) \frac{\text{kg}_{\text{carbon}}}{\text{kg}_{\text{mezcla}}} \cdot \text{€}/t_{\text{carbon}} \right]$$

Siendo *x*, *y*, *z* las fracciones másicas de biomasa, estéril y carbón respectivamente en la mezcla considerada y *g*, *h* las fracciones másicas de estéril y carbón respectivamente para una mezcla binaria de 2080 kcal/kg de PCI (*g* = 60,3% y *h* = 39,7%).

A continuación se representa gráficamente el valor económico del CO₂ y el coste suplementario tomando como abscisas el porcentaje de biomasa en la mezcla para los tres valores de cotización del gas. La curva roja es el valor económico de los humos y la azul el coste suplementario. Para que la incorporación sea rentable la curva roja ha de estar, pues, por encima de la azul.

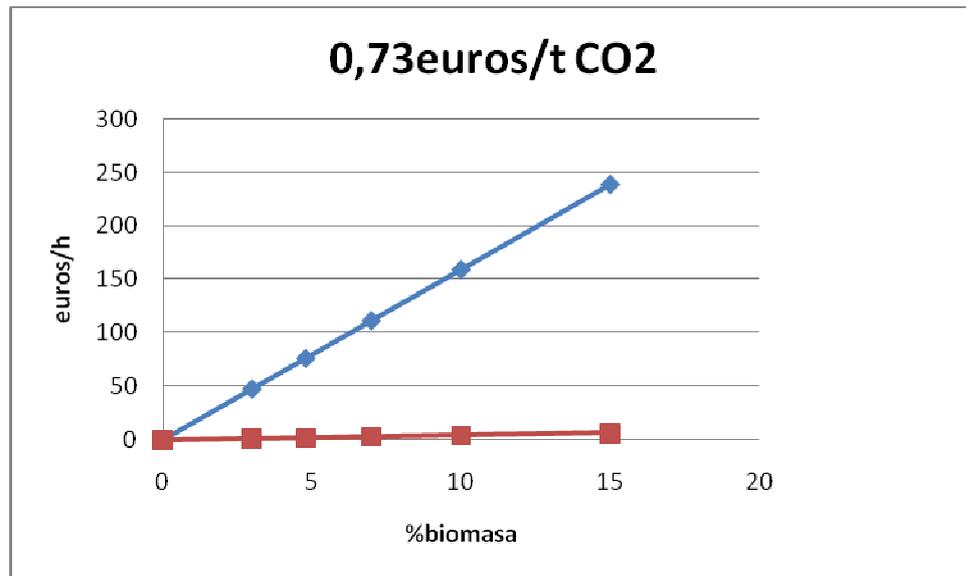


Figura 12. Valor económico del CO₂ (curva roja) y coste suplementario de abastecimiento (curva azul) con 0,73 euros por tonelada de CO₂. Elaboración propia.

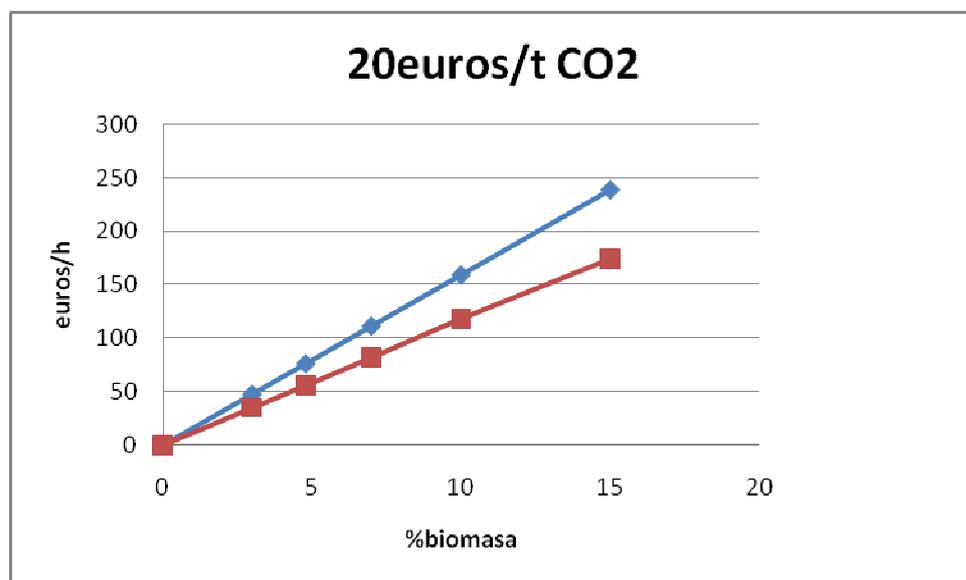


Figura 13. Valor económico del CO₂ (curva roja) y coste suplementario de abastecimiento (curva azul) con 20 euros por tonelada de CO₂. Elaboración propia.

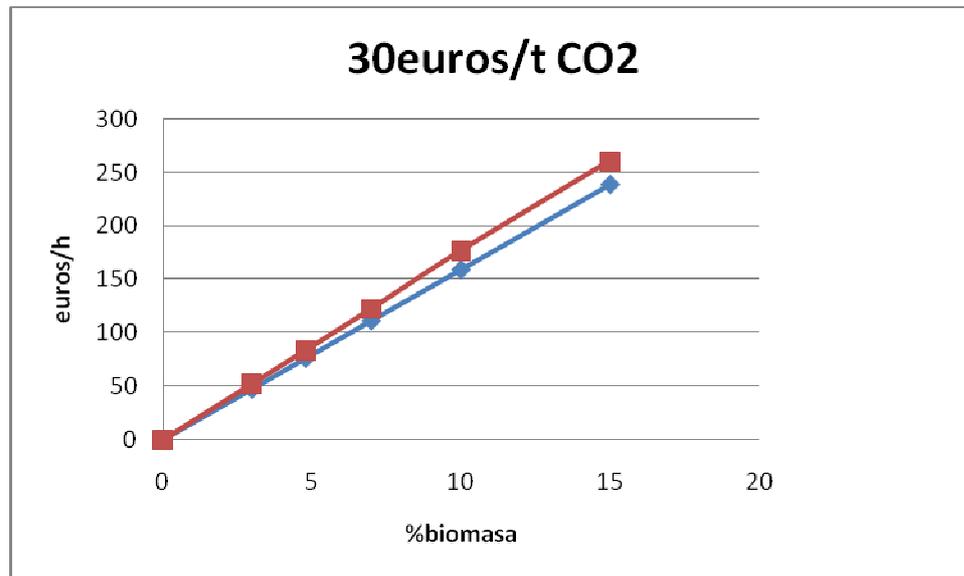


Figura 14. Valor económico del CO₂ (curva roja) y coste suplementario de abastecimiento (curva azul) con 30 euros por tonelada de CO₂. Elaboración propia.

6.4.- POTENCIAL DE ABASTECIMIENTO EN BIOMASA A LA CENTRAL DE LA PEREDA.

Para hablar de biomasa en Asturias, podemos hacer referencia a un trabajo de investigación desarrollado por J.P Paredes Sánchez y dirigido por el doctor D. Jorge Xiberta Bernat, en el cual se estudió el aprovechamiento potencial de residuos forestales y de la industria de la madera en el Principado, con la tecnología actualmente disponible. Las características y composición de los residuos vienen determinadas por el proceso que los origina. En el Principado de Asturias se puede considerar que sus principales fuentes son el mantenimiento forestal y de zonas verdes, la industria de la madera y asimilables, como resultado de las actividades siguientes:

- Limpieza forestal.
- Explotación forestal.
- Serrerías e industrias de segunda transformación de la madera.
- Minas de carbón y empresas de la construcción
- Fábricas de papel.



7.-CÁLCULO DE LA BIOMASA UTILIZABLE EN ASTURIAS.

Para obtener los datos de biomasa utilizable en Asturias se acudió a un método factorial de evaluación energética utilizando una estrategia basada en la técnica inspirada en la del árbol promedio MacDiken (1997), que por ello se define el “*Método factorial de evaluación energética*”:

El concepto de base es que una especie vegetal promedio generará también una cantidad promedio de residuo. El área asociada a una especie puede ser un buen indicador de la biomasa residual que genera, dentro de una determinada extensión. El método factorial consiste en la introducción de una serie de factores para la realización de los cálculos energéticos-estadísticos para la utilización de residuos de biomasa como combustibles.

Los conceptos a definir son los siguientes:

Residuos disponibles (RD).

Son los generados por la naturaleza (residuos Tipo I o II) o los afectados por un proceso productivo industrial (Tipo III o IV). Se miden en t/año.

Residuos utilizables (RU).

99uuuSon los que, después de aplicar los correspondientes factores correctivos a los residuos disponibles, se pueden utilizar como combustible. Se miden en (t/año). Considera cualquier residuo de biomasa y, especialmente, los residuos naturales (Tipo I - II).

Factor de utilizabilidad energética (γ).

Susceptibilidad de utilización de residuos disponibles con fines energéticos. Se basa en el factor definido originariamente en proyectos europeos (Proyecto JOINT 2002). Este factor incorpora los condicionantes del propio proceso industrial o natural que origina ese residuo y limita su utilización. Por ejemplo: la existencia de barnices en la madera, residuos inorgánicos...

Varía de 0 (residuo no utilizable) a 1(residuo totalmente utilizable).

Nota: un factor de 0,25 significa que de cada 100 kg de residuo son utilizables 25 kg.



En los residuos Tipo I se tuvo que considerar además:

Factor de superficie accesible (α).

Considera el área natural donde se desarrollan especies vegetales, susceptibles de ser utilizables sus residuos con fines energéticos. Condicionan la extensión de esta área la existencia de accesos, pendientes, factores legales (espacios protegidos)...

α varía de 0 (zona no utilizable) a 1 (zona totalmente utilizable). Un área protegida ambientalmente se le asignaría un valor de $\alpha = 0$.

Factor de regeneración residual (ρ).

Es el coeficiente de regeneración biológica, se obtiene dividiendo los residuos susceptibles de generarse en esa área en $t/(ha)$ por el periodo de regeneración de la misma (año) . Se mide en $t/(año ha)$.

ρ varía de 5 - 10 años depende de las especies:

- Especies arbustivas: 5 años.
- Especies arboladas: 10 años.

Las fórmulas del método factorial quedan recogidas en el cuadro siguiente.

FÓRMULAS MÉTODO FACTORIAL

$$RD = A \times \varphi \times \rho$$
$$RU = RD \times \gamma$$

Coefficientes:

RD = Residuos disponibles (t/año).
RU = Residuos utilizables (t/año).
A = Área de existencia de biomasa.(ha).
 φ = Factor de superficie accesible.(0-1).
 ρ = Factor de regeneración residual [t/(año ha)] .
 γ = Factor de utilizabilidad energética (0-1).

Para los concejos considerados se obtiene un valor de 48 492 toneladas de residuos utilizables al año y, para Asturias en su conjunto, la cifra asciende a 491 968 toneladas. Una sustitución del combustible del 5% por biomasa supondría tan solo la mitad del potencial del área considerada y una vigésima parte del del principado.

8.-CONCLUSIONES DE LA PARTE PRÁCTICA DEL PROYECTO

Del trabajo desarrollado a partir de los datos proporcionados por la Central de la Pereda, pudimos concluir que, de los balances de exergía, se infiere la enorme importancia de la destrucción de ésta en los procesos de combustión y transmisión de calor en el interior del generador de vapor. Las pérdidas de exergía en los humos solo suponen el 6%. Por el contrario, el análisis energético muestra que apenas se producen pérdidas de energía en la combustión y transmisión de calor, y que casi su totalidad se localiza en los humos, en el hogar y en el condensador.

Una adición de biomasa (residuos de madera) afecta negativamente al rendimiento exergético global de la caldera (del orden del 0,2% por cada 5% de biomasa en la mezcla combustible) que es la verdadera eficiencia del proceso puesto que, en una Central Termoeléctrica, el objetivo perseguido es la obtención de energía eléctrica (exergía pura) y, por lo tanto, es este valor el que nos proporciona la información correcta de cómo, a lo



largo del proceso, va teniendo lugar la pérdida del producto deseado. Además, hay que tener en cuenta las limitaciones técnicas asociadas a un alto grado de sustitución del combustible por biomasa, derivadas de la formación de depósitos que pueden reducir los coeficientes de transmisión de calor así como producir erosión y corrosión en la caldera. En cuanto a la planta en su totalidad, se concluye también de este estudio que una adición de biomasa afecta levemente al rendimiento exergético de la central (disminución del 0,1% del rendimiento por cada 5% de biomasa en la mezcla).

La incorporación de biomasa en la mezcla combustible, con precios de la tonelada de CO₂ entre los límites históricos que se dieron hasta ahora, no es económicamente rentable para la Central de La Pereda. Para que lo fuera tendrían que verificarse dos circunstancias, abaratare los costes de abastecimiento, de ahí la necesidad de un mercado de la biomasa regulado y de libre competencia y/o que el coste de la tonelada de CO₂ estuviera, al menos, en torno a los 30 euros. En este caso una sustitución por biomasa del 5% del combustible supondría un beneficio de unos 8 euros/h (es decir de 64.000 euros al año con 8.000 h de funcionamiento). Por otro lado, habría que tener en cuenta los posibles problemas a la hora de valorizar económicamente las cenizas ya que las procedentes de la combustión de biomasa podrían tener menos demanda que las del carbón o del estéril. En este caso, además de la pérdida de ingresos por la venta de las cenizas, habría que considerar los gastos que comportaría el proceso de vertido correspondiente.

En cuanto a la disponibilidad de biomasa para el abastecimiento a la central en las condiciones actuales de operación, a saber:

- o Horas de funcionamiento anuales: 8.000 (que se corresponde con un factor de utilización mayor al 90%)
- o Consumo de combustible: 58t/h

Lo que implica una demanda total anual de combustible (Da) de:

$$Da = 8000 \text{ h/año} \cdot 58 \text{ t/h} = 464.000 \text{ t/año}$$

Una sustitución por biomasa del 5% supondría un consumo anual (Cb):

$$Cb = 8.000 \text{ h/año} \cdot 58 \text{ t/h} \cdot 0,05 = 23.200 \text{ t biomasa/año}$$

Esta cantidad podría ser suministrada por el concejo de Mieres y los concejos limítrofes que suman un potencial de residuos utilizables (50.000 t) que es superior al doble de aquel valor (23.200 t).

Para sustituciones superiores al 10%, los costes de transporte no serían asumibles desde el punto de vista económico. La puesta en marcha de un mercado de la biomasa



competitivo y regulado, tal y como se indicó anteriormente, podría solventar este problema y potenciar la co-combustión tanto a escala regional como nacional.