

**UNIDAD DE PROCESOS DE CONVERSIÓN
TÉRMICA:
COMPETENCIAS E INSTALACIONES DE
INVESTIGACIÓN**

Abril 2020

ÍNDICE

	Página
1. COMPETENCIAS TECNOLÓGICAS Y DE INVESTIGACIÓN.....	5
2. INSTALACIONES DE INVESTIGACIÓN	7
2.1. INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN	7
A. Planta de combustión de lecho fluidizado burbujeante de 1MW _t	7
B. Caldera comercial de parrilla móvil de 500 kW _t	9
C. Planta de combustión ciclónica de 160 kW _t	10
D. Caldera comercial de parrilla móvil de 40 kW _t	11
E. Caldera comercial de condensación de 25 kW _t	12
F. Estufa comercial de pélets y de hueso de aceituna de 10 kW _t	13
G. Bancos de ensayos para calderas y estufas domésticas.....	14
H. Analizadores de gases de combustión.....	14
2.2. INSTALACIONES DE GASIFICACIÓN	17
A. Planta de gasificación de lecho fluidizado circulante de 500 KW _t	17
B. Planta de gasificación de lecho fluidizado burbujeante de 150 KW _t	18
C. Analizadores de gas de gasificación.....	20

1. COMPETENCIAS TECNOLÓGICAS Y DE INVESTIGACIÓN

La Unidad de Procesos de Conversión Térmica es un grupo de investigación del Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER), que depende del CIEMAT, con gran experiencia en combustión y gasificación de biomasa y residuos para la obtención de energía.

Actualmente, la Unidad de Procesos de Conversión Térmica tiene un amplio número de instalaciones de investigación en el CEDER-CIEMAT, situado en Soria. Estas instalaciones, únicas en España, están integradas por plantas de combustión y gasificación de diferentes tecnologías y potencias (desde 10 a 1000 kW_t), que permiten realizar un amplio rango de ensayos y estudios de valorización energética de biomasa y residuos, medición de emisiones de combustión, caracterización y limpieza de gas de gasificación y estudio de formación de depósitos.

Las actividades del grupo de investigación son:

- Evaluación de equipos comerciales de combustión (calderas y estufas) usando biocombustibles estándar, para obtener información del comportamiento, emisiones, eficiencias y problemas relacionados con las cenizas.
- Estudio del proceso de combustión de diferentes tipos de biomasa y residuos en dispositivos de combustión caracterizados, comparando estos resultados con los obtenidos con biocombustibles estándar. Estos resultados apoyan el desarrollo de nuevos biocombustibles para los sectores doméstico e industrial y la redacción de estándares de calidad de biocombustibles. Esta actividad también proporciona información para el diseño y desarrollo de nuevas tecnologías o la mejora de los equipos de combustión existentes.
- Medición de emisiones de combustión, para la evaluación del cumplimiento de los límites establecidos por las normativas nacionales e internacionales. Esta actividad apoya la decisión de usar tipos alternativos de biomasa o residuos como fuente de energía en diferentes instalaciones existentes o nuevas.
- Estudio de formación de depósitos en intercambiadores de calor en plantas de mediana y gran potencia, utilizando una sonda de muestreo de depósitos

desarrollada por la Unidad. Esto permite obtener muestras de depósitos de las superficies del intercambiador de calor, sin parar las instalaciones, con el correspondiente beneficio económico. El estudio de las muestras proporciona la cantidad de depósito, información de su estructura y la posibilidad de reducirlos para incrementar la eficiencia.

- Estudio del proceso de gasificación de diferentes tipos de biomasa y residuos, optimizando los parámetros de operación y utilizando diferentes agentes gasificantes para la obtención de un gas de la mejor calidad posible. Esta actividad contribuye a la evaluación de la viabilidad del uso energético de un combustible a través de gasificación y de la optimización del proceso.
- Caracterización del gas de gasificación, midiendo los principales componentes (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2S , C_3S , benceno, tolueno y H_2O) y contaminantes (NH_3 , HCl , HF , partículas y alquitranes). Estos resultados proporcionan información relevante sobre la necesidad de limpiar y mejorar el gas de gasificación para su uso final (quemador, motor, turbina de gas, producción de gas de síntesis, etc). Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se establece la mejor forma de utilizar el gas obtenido.
- Estudio del proceso de limpieza del gas de gasificación, empleando diferentes etapas y optimizando los adsorbentes y las condiciones de operación en cada caso. Esto facilitará criterios para el diseño de la planta de limpieza del gas en una aplicación industrial, teniendo en cuenta el uso deseado del gas.

Para el desarrollo de todas estas actividades de investigación, la Unidad tiene varias instalaciones de investigación y analizadores que se describen en el siguiente apartado.

2. INSTALACIONES DE INVESTIGACIÓN

La Unidad de Procesos de Conversión Térmica, localizada en el CEDER y dependiente del CIEMAT, centra sus actividades de investigación en la combustión y gasificación de biomasa y residuos para producción de energía de una forma sostenible.

Estas actividades se llevan a cabo en varias instalaciones de investigación de diferentes tecnologías y potencias que están disponibles para realizar pruebas en el marco de proyectos de investigación o servicios técnicos para empresas públicas o privadas.

2.1. INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN

A. **Planta de combustión de lecho fluidizado burbujeante de 1MW_t**

Se trata de una planta de combustión en lecho fluidizado burbujeante de 1 MW_t, que incluye un horno de 1 m de diámetro interior y 4 m de altura. La temperatura se controla mediante varios intercambiadores de calor dentro del lecho y un intercambiador externo aire-humos, calentando varios edificios conectados a través de una red de tuberías.

La planta dispone de tres tolvas para alimentar simultáneamente varios tipos de biomasa o residuos y materiales inertes o adsorbentes inorgánicos. La tolva principal está adaptada a todos los tipos biomasa herbácea y leñosa, alimentando cantidades de 100-350 Kg/h. La entrada de combustible al horno se realiza mediante un tornillo sinfín situado 50 cm sobre la placa de distribución del aire.

Un quemador de propano proporciona el calentamiento inicial de la instalación hasta la temperatura de ignición del combustible sólido.

Hay dos posibilidades para eliminar las partículas de los gases de salida: un filtro de mangas o una combinación de un precipitador electrostático y un filtro de mangas.

Un sistema de control centralizado permite las mediciones en continuo y el guardado de todos los parámetros de funcionamiento, tales como temperaturas, presiones, calor transferido y caudales de biomasa, aire y agua. Se lleva a cabo una medición en continuo de O₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂, TOC y TSP en los gases, siendo también posible la

medida de otros compuestos específicos (NH_3 , HCl , CH_4 , NO , NO_2 , N_2O , etc.) y la realización de muestreos isocinéticos discontinuos para determinar la concentración de partículas por el método gravimétrico.



Planta de combustión de lecho fluidizado burbujeante de 1 MW_t



Precipitador electrostático y filtro de mangas

B. Caldera comercial de parrilla móvil de 500 kW_t

Se trata de una caldera comercial de parrilla móvil con una capacidad de 500 kW_t con eliminación de cenizas y limpieza del intercambiador de calor de forma continua, que produce agua caliente para el calentamiento de varios edificios conectados a la planta a través de una red de tuberías.

Están disponibles dos tolvas adaptadas a todos los tipos de biomasa leñosa y herbácea para alimentar simultáneamente varios combustibles en el rango de 50-200 kg/h. La entrada de combustible al horno se realiza mediante un tornillo sinfín ubicado en un extremo de la cámara de combustión y el movimiento de la parrilla transporta el combustible y las cenizas a través del horno hasta el sinfín de eliminación de cenizas.

Dos ventiladores introducen el aire de combustión primario y secundario debajo de la parrilla y dentro de la cámara de combustión, respectivamente.

Las partículas gruesas de los humos se eliminan mediante un multiciclón situado a la salida de la caldera.

Un sistema de control centralizado permite las mediciones en continuo y el guardado de todos los parámetros de funcionamiento, tales como temperaturas, presiones, calor transferido y caudales de biomasa, aire y agua. Se lleva a cabo una medición en continuo de O₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂, TOC y TSP en los gases, siendo también posible la medida de otros compuestos específicos (NH₃, HCl, CH₄, NO, NO₂, N₂O, etc.) y la realización de muestreos isocinéticos discontinuos para determinar la concentración de partículas por el método gravimétrico.



Caldera comercial de parrilla móvil de 500 MW_t

C. Planta de combustión ciclónica de 160 kW_t

Se trata de una planta de combustión ciclónica con una capacidad térmica de 160 kW_t.

La cámara de combustión está dividida en dos partes: una sección cilíndrica térmicamente aislada y una región con forma cónica donde se transfiere el calor al agua. En la zona cilíndrica el combustible se quema en suspensión, mientras en la sección cónica tiene lugar la combustión de los compuestos volátiles, CO y partículas. En la salida, un mult ciclón elimina las partículas gruesas de los humos y posteriormente las partículas finas se eliminan en un filtro de mangas.

El sistema de alimentación consiste en una tolva con un rompe-bóvedas y un tornillo sinfín con una capacidad de hasta 40 kg/h.

El sistema de control permite la operación de la planta y la medición y guardado de datos de temperaturas y caudales. Además, se lleva a cabo la medida en continuo de la composición de los gases (O₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂ y TOC), siendo también posible la medida de otros compuestos específicos (NH₃, HCl, CH₄, NO, NO₂, N₂O, etc.) y la realización de muestreos isocinéticos discontinuos para determinar la concentración de partículas por el método gravimétrico.

D. Caldera comercial de parrilla móvil de 40 kW_t

Se trata de una caldera de parrilla móvil comercial con una capacidad de hasta 40 kW_t, dependiendo del combustible, con eliminación de ceniza y limpieza del intercambiador de calor de forma automática.

Se dispone de dos tolvas de diferentes tamaños para ensayos de corta o larga duración. La entrada de combustible en el horno se realiza mediante un tornillo sinfín en un extremo de la cámara de combustión y el movimiento de la parrilla hace que avancen el combustible y las cenizas a través del horno hasta el sinfín de eliminación de cenizas.

El sistema de control permite las medidas en continuo y el guardado de todos los parámetros de operación, tales como temperaturas, presiones, calor transferido y caudales de aire y agua. Se lleva a cabo la medida en continuo de O₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂ y TOC en los humos, siendo también posible la medida de otros compuestos específicos (NH₃, HCl, CH₄, NO, NO₂, N₂O, etc.) y la realización de muestreos isocinéticos discontinuos para determinar la concentración de partículas por el método gravimétrico.



Caldera comercial de parrilla móvil de 40 kW_t

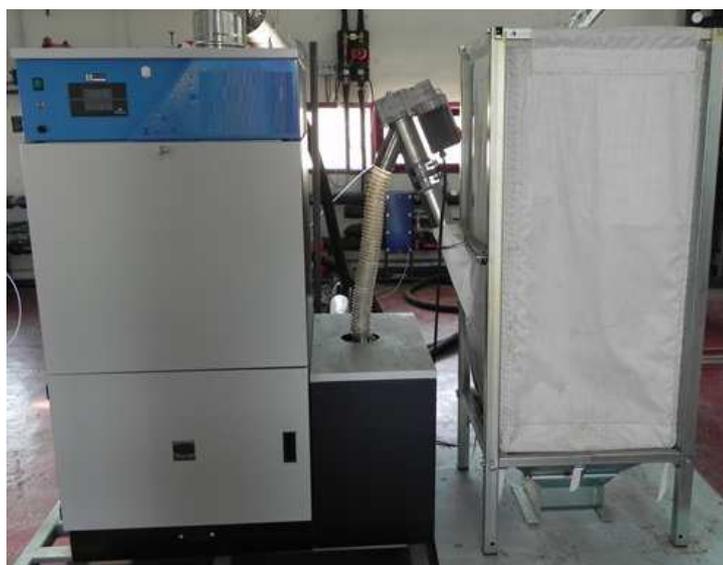
E. Caldera comercial de condensación de 25 kW_t

Se trata de una caldera comercial de biomasa de condensación con una capacidad de 25 kW_t, con la posibilidad de trabajar en modo de modulación automática o a cinco niveles diferentes de potencia fijados. La caldera es capaz de trabajar bajo condiciones de condensación o no.

El combustible es alimentado por la parte inferior del quemador, que tiene un sistema de limpieza patentado. Las cenizas caen al cenicero, desde donde se eliminan manualmente en la caldera experimental, a fin de facilitar el muestreo de cenizas, evitando que se mezclen con las procedentes de diferentes ensayos.

El intercambiador de calor tiene un diseño especial en espiral con alto rendimiento, de modo que los gases salen a muy baja temperatura en cualquier condición de operación (40-70°C). Los tubos de la caldera se limpian automáticamente con agua.

El sistema de control permite las medidas en continuo y el guardado de todos los parámetros de operación, tales como temperaturas, presiones, calor transferido y caudales de aire, humos y agua. Se miden en continuo O₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂ y TOC, siendo también posible la medida de otros compuestos específicos (NH₃, HCl, CH₄, NO, NO₂, N₂O, etc.) y la realización de muestreos isocinéticos discontinuos para determinar la concentración de partículas por el método gravimétrico.



Caldera comercial de biomasa de condensación de 25 kW_t

F. Estufa comercial de pélets y de hueso de aceituna de 10 kW_t

Se trata de una estufa comercial de pélets y de hueso de aceituna con una capacidad térmica nominal de 10 kW, con la posibilidad de trabajar en el modo de modulación automática o a cuatro niveles de potencia fijados. Tiene la posibilidad de aportar aire caliente a tres habitaciones diferentes. La estufa tiene integrada una tolva con una capacidad de consumo de combustible para un día.

El combustible se alimenta desde la parte superior al quemador, de donde se eliminan las cenizas de forma automática, lo que permite operar con combustibles con contenido moderado en cenizas. También incorpora un sistema de limpieza del intercambiador de calor de accionamiento manual.

Un sistema de control permite las medidas en continuo y el guardado de todos los parámetros de operación, tales como temperaturas, presiones y caudales de aire y humos. Se lleva a cabo una medida en continuo de O₂, CO₂, CO, NO_x, SO₂ y TOC (además de compuestos específicos como NH₃, HCl, CH₄, NO, NO₂, N₂O, etc.), siendo también posible la realización de muestreos isocinéticos discontinuos para determinar la concentración de partículas por el método gravimétrico.



Estufa comercial de pélets y de hueso de aceituna de 10 kW_t

G. Bancos de ensayos para calderas y estufas domésticas

La Unidad dispone de varios bancos de ensayo para instalar calderas y estufas domésticas con el fin de ser probadas en laboratorio. Así, es posible la instalación de una estufa con una potencia térmica de hasta 20 kW y de dos calderas con un rango de potencia entre 15 y 50 kW_t para estudiar el comportamiento de cada dispositivo con combustibles diferentes bajo condiciones de operación controladas, siguiendo un protocolo basado en los estándares existentes. (EN 303-5, EN 14785, EN 16510 y Eco-diseño).

Se dispone de los instrumentos requeridos para la medida de todos los parámetros (temperaturas; caudal de aire, humos y agua; calor transferido; presiones) y de un sistema central de adquisición de datos para las estufas y calderas instaladas en los bancos de ensayos.

La caracterización de los humos se lleva a cabo con el equipamiento descrito en la siguiente sección.

H. Analizadores de gases de combustión

Un conjunto de diferentes analizadores de gases proporciona la caracterización típica de las emisiones de las plantas de ensayo de combustión localizadas en el CEDER-CIEMAT. Incluye los siguientes analizadores:

- NDIR (analizador infrarrojo no dispersivo) para determinar CO, CO₂, NO y SO₂.
- Paramagnético para determinar O₂.
- Ultravioleta para determinar SO₂.
- FID (detector de ionización de llama) para determinar COT.

El sistema incluye un convertidor catalítico de NO₂, de modo que el NO₂ presente en los humos se transforma a NO. Por lo tanto, el valor de NO que da el analizador es NO_x (NO + NO₂, expresado como NO).

El FID es un analizador que opera a alta temperatura y usa H₂ como combustible y aire comprimido como oxidante para determinar la cantidad de carbono orgánico en la

muestra de gas. Una alícuota de la muestra se introduce en el analizador después de varios filtros. El resto de la muestra de gas se introduce en un refrigerador, donde se reduce la temperatura hasta aproximadamente 0°C, condensando el agua presente. La muestra de gas seco en frío es analizada en los otros dispositivos mencionados.

También se dispone de un analizador FTIR portátil (Espectrómetro Infrarrojo por Transformada de Fourier) para medir la concentración de los siguientes componentes del gas de combustión: H₂O, CO₂, O₂ (ZrO₂ sonda integrada), CO, NO, NO₂, N₂O, NH₃, HCl, SO₂, HF, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₈, C₆H₁₄ y CH₂O.

El analizador consiste en una unidad de muestreo portátil (con una bomba y una sonda de ZrO₂ para medir el contenido de oxígeno) y el analizador, que incorpora un espectrómetro infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR). La muestra se mantiene a 180°C desde la chimenea hasta el analizador, lo que permite la determinación de los compuestos en fase gaseosa, evitando su condensación.

El sistema está conectado a un ordenador portátil con un software específico que proporciona la concentración de todos los compuestos gaseosos mencionados anteriormente, tras comparar el espectro de la muestra de gas con el espectro de todos los componentes que tiene incluidos en la librería.



Analizador FTIR portátil

Además, se dispone de un FID portátil (detector de ionización de llama) que proporciona el Carbono Orgánico Total (COT) presente en el gas de combustión. La temperatura del gas se mantiene en 180°C, evitando la condensación.



Analizador FID portátil

Se dispone también de una sonda de muestreo isocinético para determinar simultáneamente la concentración de partículas (corriente principal) y de HCl y SO_x (corriente lateral), siguiendo los estándares EN 13284, EN 1911 y EN 14791, respectivamente.

Un impactador eléctrico de baja presión (ELPI) con 14 etapas permite determinar la concentración y la distribución de tamaños de las partículas presentes en los humos.



Analizador ELPI portátil



ELPI: 14 etapas y detalle del sustrato de una etapa tras un muestreo.

2.2. INSTALACIONES DE GASIFICACIÓN

A. Planta de gasificación de lecho fluidizado circulante de 500 KW_t

Se trata de una planta de gasificación con una capacidad térmica de 500 kW que consta de un gasificador atmosférico de lecho fluidizado circulante (300 mm de diámetro interior y 8,5m de altura) y una planta de limpieza de gas. El gasificador trabaja en modo autotérmico, después de su precalentamiento con un quemador de propano.

El sistema de alimentación es estanco y consiste en dos tolvas y dos tornillos sinfín. Además, una tolva adicional conectada al gasificador permite introducir material inerte en el lecho de forma continua durante el proceso, si fuera necesario.

La eliminación de las cenizas del lecho se lleva a cabo de forma continua, si se necesita, mediante un tornillo sinfín refrigerado.

La recirculación de sólidos se realiza a través de un ciclón, una tubería de retorno y una válvula de sólidos, todo ello aislado térmicamente.

La planta de limpieza del gas consiste en varias etapas de separación: otro ciclón, un intercambiador de calor, un filtro de mangas, lavadores a baja temperatura y una antorcha. La limpieza de gases se puede realizar siguiendo todas las etapas o solo las que deseen ser estudiadas.

Un sistema de control centralizado permite las medidas en continuo y el guardado de todos los parámetros de operación, tales como temperaturas, presiones y caudales de biomasa, aire y gas. Se lleva a cabo la medida en continuo de O₂, CO, H₂, CO₂, CH₄ y SH₂, entre otros componentes gaseosos presentes en el gas de gasificación (varios puntos de muestreo). El muestreo de alquitranes del gas se lleva a cabo mediante un protocolo basado en la especificación técnica CEN/TS 15439 y las concentraciones de cada componente son determinadas en el laboratorio.



Planta de limpieza del gas de gasificación

B. Planta de gasificación de lecho fluidizado burbujeante de 150 KW_t

La planta de gasificación de lecho fluidizado tiene una capacidad térmica de 150 kW. El gasificador, de 300 m de diámetro interno, se precalienta con un quemador de propano durante el arranque, pero después el proceso es autotérmico y no es necesaria ninguna fuente de calor externa. Un ventilador introduce el aire uniformemente a través de la placa distribuidora, aunque se pueden utilizar otros agentes gasificantes, como vapor de agua u oxígeno.

El sistema de alimentación es estanco y consiste en dos tolvas y dos tornillos sinfín. Además, existe una tolva adicional conectada al gasificador para introducir al lecho material inerte durante el proceso de forma continua, si fuera necesario.

La eliminación de las cenizas del lecho se lleva a cabo en continuo, si es necesario, a través de un tornillo sinfín refrigerador.

A la salida del gasificador, el gas de gasificación entra en un ciclón, que elimina las partículas gruesas. El gas libre de partículas circula a través de una tubería donde existen dos puntos de muestreo. Finalmente, el gas generado en el proceso se quema en una antorcha.

Un sistema de control centralizado permite las medidas en continuo y el guardado de todos los parámetros de operación, tales como temperaturas, presiones y caudales de biomasa, aire y gas. Se lleva a cabo la medida en continuo de O_2 , CO , H_2 , CO_2 , CH_4 y SH_2 , entre otros componentes gaseosos (varios puntos de muestreos). El muestreo de alquitranes se realiza mediante un protocolo basado en la especificación técnica CEN/TS 15439 y las concentraciones de cada componente son determinadas en el laboratorio.



Planta de gasificación de lecho fluidizado burbujeante de 150 kW_t

C. Analizadores de gas de gasificación

Se dispone de un dispositivo transportable con los siguientes analizadores de gas configurados con los rangos apropiados para medir el gas de gasificación:

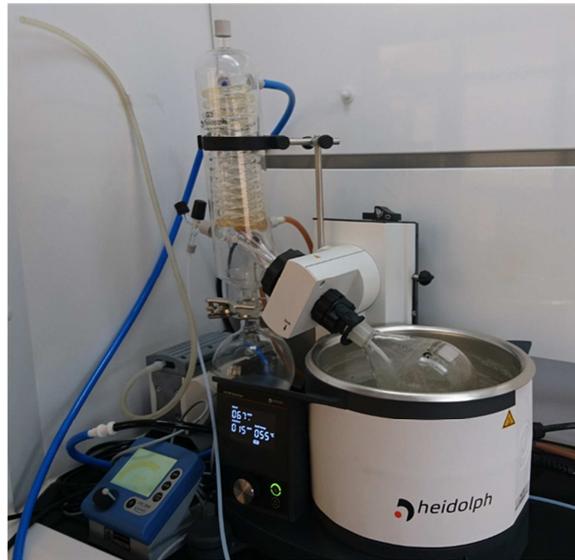
- NDIR (analizador infrarrojo no dispersivo) para determinar CO, CH₄ y CO₂.
- Analizador de conductividad térmica para H₂.
- Analizador paramagnético para O₂.
- Analizador láser para SH₂.
- FTIR para determinar H₂O, CO₂, CO, NH₃, HF, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₂H₂, benceno y tolueno (disponible a finales de 2020).

Además, se dispone de un analizador FID portátil para determinar los COT en el gas.

El muestreo de alquitranes en el gas se realiza mediante un protocolo basado en la especificación técnica CEN/TS 15439 y la concentración de cada componente se determina en el laboratorio. Además, los alquitranes gravimétricos se determinan con un evaporador rotativo, siguiendo la misma especificación técnica.



Sistema de muestreo de alquitranes



Evaporador rotativo para la determinación de los alquitranes gravimétricos