# Jornadas: Biocombustibles, Crisis Energética, Oportunidades de Negocio



## *Centrales de Calefacción y Electricidad a partir de Biomasa*


**JUAN FÉLIX GONZÁLEZ GONZÁLEZ**

**(GAIRBER)**

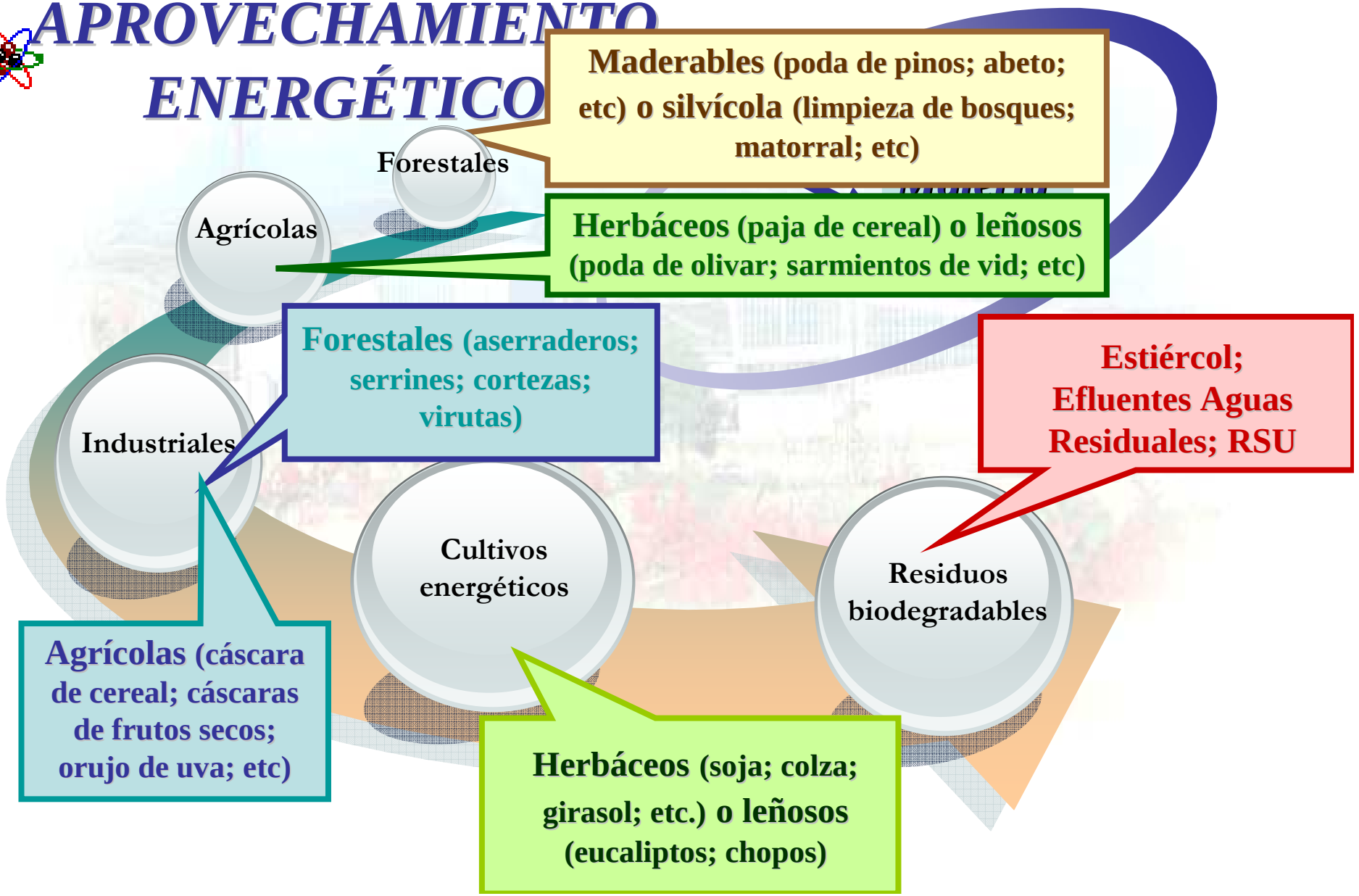

**Escuela de Ingenierías Industriales**

**UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA**

**CIA Finca La Orden, 26 de Noviembre de 2008**

# ALTERNATIVA ENERGÉTICA PARA EL DESARROLLO

## APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO



# PRODUCCIONES DE ENERGÍA PRIMARIA Y ELECTRICIDAD EN LA UE

**T3** PRODUCTION BRUTE D'ÉLECTRICITÉ À PARTIR DE BIOMASSE SOLIDE DE L'UNION EUROPÉENNE EN 2004 ET EN 2005* (EN TWH)

*GROSS ELECTRICITY PRODUCTION FROM SOLID BIOMASS IN THE EUROPEAN UNION IN 2004 AND 2005* (IN TWH)*

| Pays/ *Countries* | 2004 | | | 2005 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Centrales électriques seules/ *Electricity plants only* | Centrales fonctionnant en cogénération/ *CHP plants* | Électricité totale/ *Total electricity* | Centrales électriques seules/ *Electricity plants only* | Centrales fonctionnant en cogénération/ *CHP plants* | Electricité totale/ *Total electricity* |
| Finlande/*Finland* | 1,311 | 8,872 | 10,183 | 1,311 | 8,872 | 10,183 |
| Suède/*Sweden* | 0,000 | 6,614 | 6,614 | 0,000 | 6,874 | 6,874 |
| Allemagne/*Germany* | 0,000 | 3,900 | 3,900 | 0,000 | 5,400 | 5,400 |
| Pays-Bas/*Netherlands* | 0,000 | 1,756 | 1,756 | 0,000 | 3,586 | 3,586 |
| Royaume-Uni/*UK*** | 1,949 | 0,000 | 1,949 | 3,388 | 0,000 | 3,388 |
| Italie/*Italy* | 1,003 | 1,188 | 2,190 | 1,075 | 1,263 | 2,337 |
| Autriche/*Austria* | 0,549 | 1,145 | 1,693 | 0,636 | 1,294 | 1,930 |
| Danemark/*Denmark* | 0,000 | 1,834 | 1,834 | 0,000 | 1,897 | 1,897 |
| France/*France**** | 0,879 | 0,819 | 1,698 | 0,955 | 0,819 | 1,774 |
| Espagne/*Spain* | 1,333 | 0,881 | 2,214 | 0,883 | 0,712 | 1,596 |
| Portugal/*Portugal* | 0,058 | 1,201 | 1,259 | 0,064 | 1,286 | 1,350 |
| Pologne/*Poland* | 0,349 | 0,419 | 0,768 | 0,877 | 0,467 | 1,344 |
| Belgique/*Belgium* | 0,304 | 0,259 | 0,563 | 0,800 | 0,285 | 1,085 |
| Hongrie/*Hungary* | 0,671 | 0,007 | 0,678 | 0,671 | 0,007 | 0,678 |
| Rép. tchèque/*Czech Rep.* | 0,227 | 0,337 | 0,564 | 0,206 | 0,354 | 0,560 |
| Slovénie/*Slovenia* | 0,000 | 0,090 | 0,090 | 0,000 | 0,082 | 0,082 |
| Slovaquie/*Slovakia* | 0,000 | 0,033 | 0,033 | 0,000 | 0,033 | 0,033 |
| Irlande/*Ireland* | 0,000 | 0,008 | 0,008 | 0,000 | 0,008 | 0,008 |
| Lituanie/*Lithuania* | 0,000 | 0,0004 | 0,0004 | 0,000 | 0,0002 | 0,0002 |
| **Total UE/*E.U.*** | **8,632** | **29,363** | **37,996** | **10,866** | **33,238** | **44,104** |

# PRODUCCIONES DE ENERGÍA PRIMARIA Y ELECTRICIDAD EN ESPAÑA

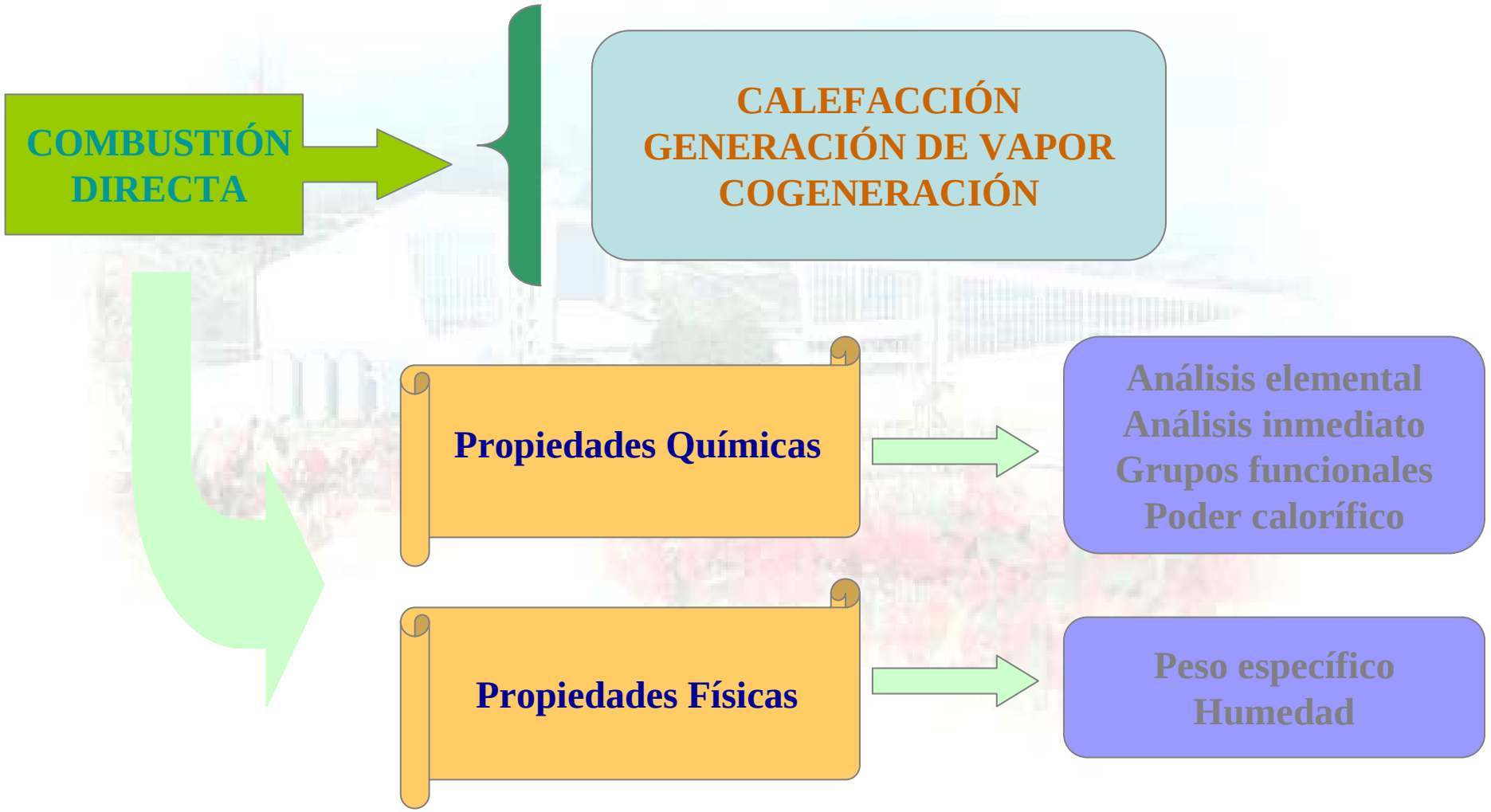
## Objetivos energéticos 2005-2010 (energia primaria)

| | OBJETIVOS (tep) |
|---|---|
| *Recursos* | |
| Residuos forestales | 462.000 |
| Residuos agrícolas leñosos | 670.000 |
| Residuos agrícolas herbáceos | 660.000 |
| Residuos de industrias forestales | 670.000 |
| Residuos de industrias agrícolas | 670.000 |
| Cultivos energéticos | 1.908.300 |
| *Aplicaciones* | |
| Aplicaciones térmicas | 582.514 |
| Aplicaciones eléctricas | 4.457.786 |
| *TOTALES* | |
| Energía primaria | 5.040.300 |

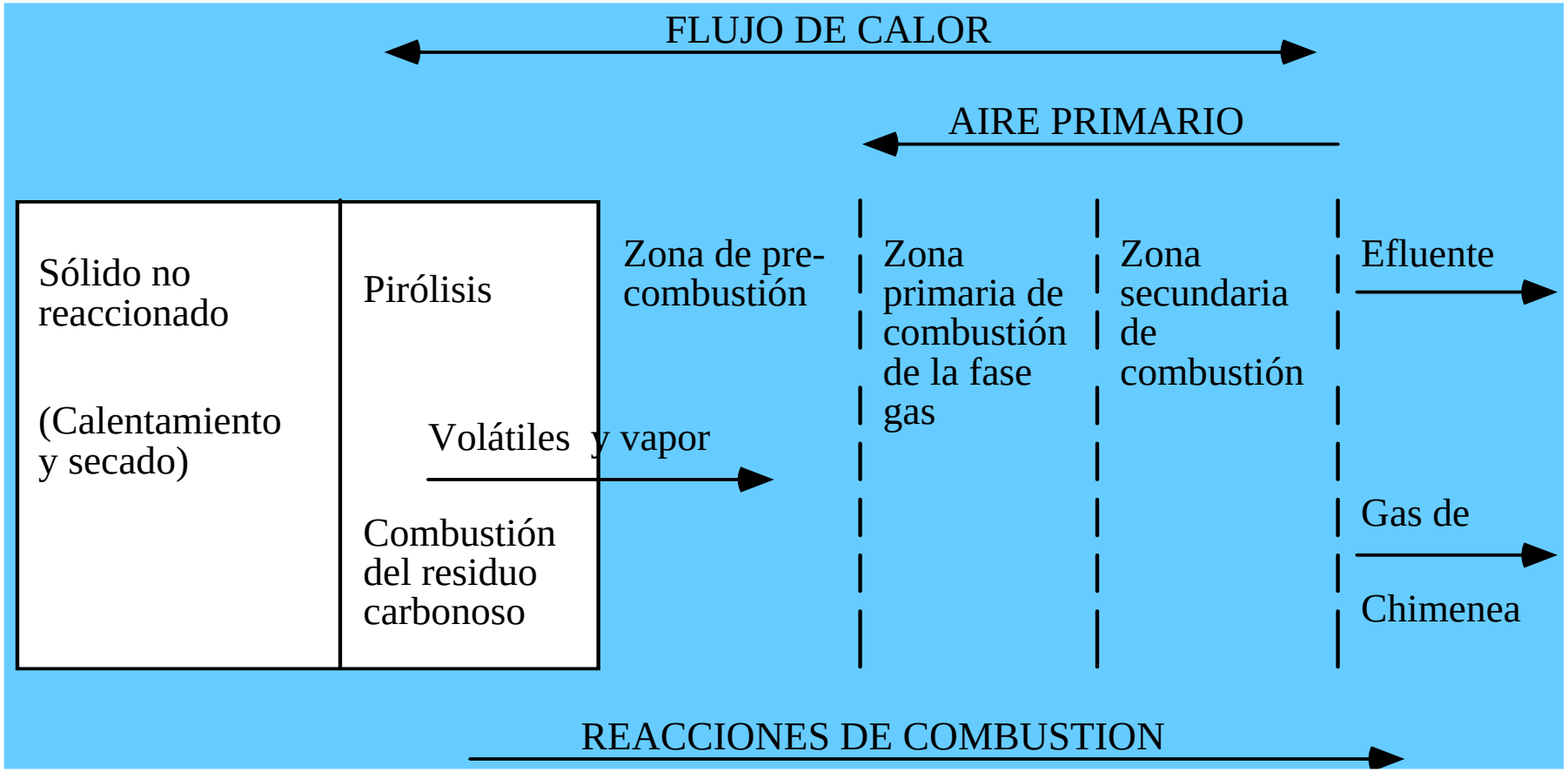
## Objetivos energéticos 2005-2010 (potencia eléctrica)

| PER 2005-10: objetivos (MW) | |
|---|---|
| *Generación distribuida* | |
| *Desglose por tipo de recurso* | |
| Residuos forestales | 60 |
| Residuos agrícolas leñosos | 100 |
| Residuos agrícolas herbáceos | 100 |
| Residuos de industrias forestales | 100 |
| Residuos de industrias agrícolas | 100 |
| Cultivos energéticos | 513 |
| Total generación distribuida (MW) | 973 |
| *Co-combustión (MW)* | |
| Total co-combustión (MW) | 722 |
| *Total generación eléctrica con biomasa* | |
| TOTAL (MW) | 1.695 |

# Aprovechamiento Energético de la Biomasa



## Modelo General de Combustión



# Calderas Murales (11.5 kW)



Chimenea

Regulador Tiro

Hogar

Orificio Termopar

Cuadro Mandos

# Residuos biomásicos estudiados

- **Cáscara de almendra**





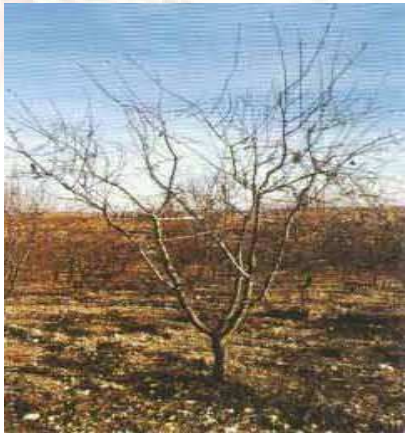


# Residuos biomásicos estudiados

- **Poda de almendro**











# Residuos biomásicos estudiados

- **Sorgo (Sorghum bicolor Moench)**







# Residuos biomásicos estudiados

- **Caña (Arundo *Donax L.*)**







- Poder calorífico superior

| Residuo | Orujillo de aceituna | Cáscara de almendra | Poda de almendro | Pellet de cynara | Caña |
|---|---|---|---|---|---|
| PCS (MJ/kg) | 18,4 | 18,2 | 18,2 | 14,7 | 17,4 |

- Análisis inmediato

| Residuo | Cenizas (%) | Humedad (%) | Volátiles (%) | Carbono fijo (%) |
|---|---|---|---|---|
| *Orujillo de aceituna* | 6 | 7 | 67 | 19,4 |
| *Cáscara de almendra* | 0,55 | 3,3 | 80,28 | 15,85 |
| *Poda de almendro* | 1,23 | 10,63 | 72,21 | 15,91 |
| *Pellet de cynara* | 11,36 | 10,88 | 62,88 | 14,88 |
| *Caña* | 2,22 | 28,01 | 58,36 | 11,39 |

- Análisis elemental

| Residuos | C (%) | H (%) | N (%) | Cl (%) | S (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| *Orujillo de aceituna* | 40,3 | 5,2 | **0,77** | **0,04** | **0,02** |
| *Cáscara de almendra* | 50,5 | 6,57 | **0,21** | **0,05** | **0,006** |
| *Poda de almendra* | 51,31 | 6,53 | **0,76** | **0,05** | **0,035** |
| *Pellet de cynara* | 39,04 | 5,96 | **1,95** | **1,21** | **0,14** |
| *Caña* | 40,27 | 5,28 | **0,39** | **0,8** | **0,073** |

# Condiciones Óptimas de Combustión

| *MUESTRA* | m kg/h | Tiro % | $O_2$ % | CO ppm | T.H ºC | qA % | $CO_2$ % | Tª Sal. Aire ºC | λ | Ren % | Tª Hogar ºC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Cáscara | **1,908** | **0** | **13,2** | **210** | **188** | **17,8** | **5,3** | **108,3** | **5,3** | **85** | **491** |
| Poda | **1,906** | **0** | **8** | **1385** | **222** | **13,8** | **8,8** | **195,4** | **1,6** | **88,3** | **526** |
| Sorgo | **3,138** | **0** | **8,5** | **409** | **211** | **12** | **8,5** | **223.4** | **1,7** | **85,3** | **495** |
| Caña | **2,304** | **0** | **10,6** | **929** | **230** | **15,2** | **7,1** | **150,3** | **2,0** | **84** | **478** |

# Calderas pirotubulares (145 kW)

– Caldera



- Combustibles ensayados

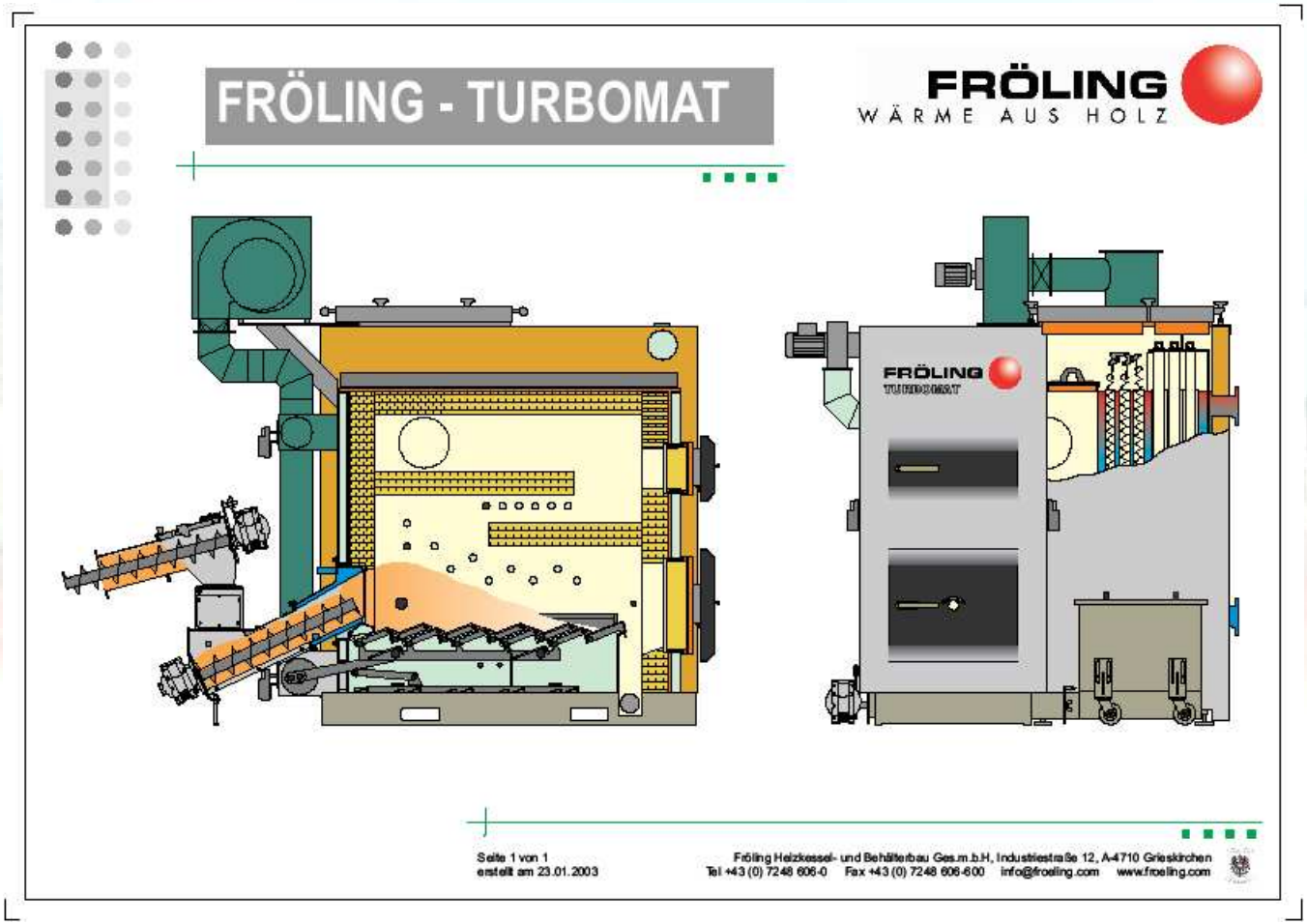


# Instalaciones de Calefacción

- Condiciones óptimas de los residuos

| | $Q_m$ (kg/h) | Tiro (%) | $T_{agua}$ (ºC) | REN (%) | NO (ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| Orujillo de aceituna | 10 | 5 | 65 | 84,1 | 50 |
| Cáscara de almendra | 17,47 | 5 | 82 | 90,7 | 0 |
| Pellet de cynara | 5,76 | 5 | 56 | 86,7 | 0 |
| Poda de almendro | 12 | 5 | 72 | 84 | 5 |
| Caña | 20 | 5 | 65 | 74,2 | 0 |

# NUEVA CALDERA INSTALADA EN LA ORDEN



# Instalaciones de Calefacción




| Red de calefacción centralizada | | |
|---|---|---|
| Potencia bruta | | 6.000 kW |
| Rendimiento transformación | | 85,0% |
| Rendimiento transporte | | 90,0% |
| Vida útil | | 20 años |
| Horas operación anual | | 820 h/año |
| Cantidad de biomasa consumida | $PCI_h$ = 3.500 kcal/kg | 1.580 t/año |
| Costes Biomasa | 224 €/tep | 94.800 €/año |
| Costes de explotación | 384 €/tep | 162.450 €/año |
| Inversión | 282 €/kW | 1,69 M€ |
| Producción energética | | 423 tep/año |

# Instalaciones de Calefacción

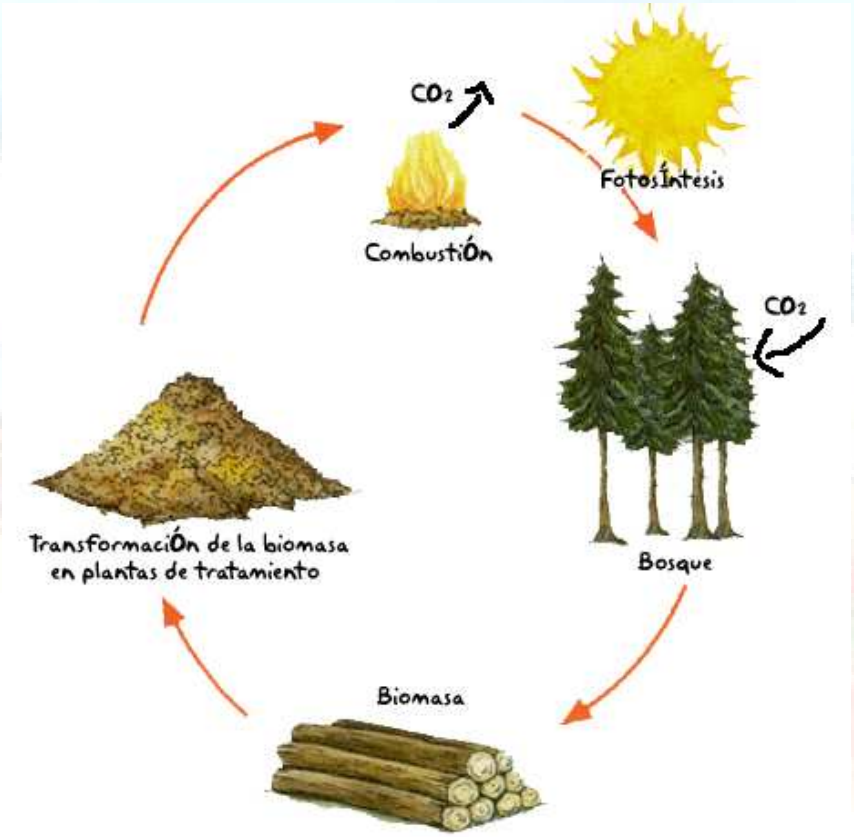
| Vivienda unifamiliar | | |
|---|---|---|
| Potencia bruta | | 25 kW |
| Rendimiento global | | 85,0% |
| Horas operación anual | | 1.500 h/año |
| Cantidad de biomasa consumida | $PCI_h$ = 4.000 kcal/kg | 9,5 t/año |
| Costes Biomasa (pélet) | 15 cent€/kg | 1.422 €/año |
| Costes anteriores con Propano | 6 cent€/te | 2.150 €/año |
| Inversión adaptación a biomasa | 360 €/kW | 9.000 € |
| Producción energética | | 3,8 tep/año |
| Periodo de recuperación simple | Sin ayudas: 12,4 años | Con ayudas: 8,7 años |
| TIR constantes | Sin ayudas: 5 % | Con ayudas: 10 % |

# Instalaciones de Calefacción

## Algunas Firmas de la Industria de la Biomasa Sólida

| Entreprises/ *Company* | Pays/ *Countries* | Type de produit/ *Type of product* | Gamme de puissance/ *Power Range* | Chiffre d'affaires/ *Turnover 2005 (M€)* |
|---|---|---|---|---|
| Kvaerner Power* | Norvége et Suède/ *Norway and Sweden* | Solutions pour municipalités et sites industriels/ *solutions for municipalities & industrial sites* | 20 – 300 MWth/ up to 550 MWe | 500 |
| Fröling Heizkessel und Behälterbau GesmbH | Autriche/ *Austria* | Chaudières et brûleurs pour particuliers et petites entreprises/ *boilers & burners for homeowners & small companies* | 5 – 1 000 kW | 92 |
| Wärtsila Biopower Oy | Finlande/ *Finland* | Solutions pour municipalités et sites industriels/ *solutions for municipalities & industrial sites* | 3 – 17 MWth/ up to 5,3 MWe | 37 |
| HDG Bavaria GmbH | Allemagne/ *Germany* | Chaudières et brûleurs pour particuliers et petites entreprises/ *boilers & burners for homeowners & small companies* | 10 – 200 kWth | 30 |
| KWB | Autriche/ *Austria* | Chaudières et brûleurs pour particuliers et petites entreprises/ *boilers & burners for homeowners & small companies* | 10 – 150 kWth | 36,3 |
| TPS Termiska Processer AB | Suède/ *Sweden* | Chaudières et brûleurs, solutions pour réseau de chaleur/*boilers & burners, complete solution for DH* | 300 kWth – 20 MWth | 27 |
| ETA Heiztechnik GmbH | Autriche/ *Austria* | Chaudières et brûleurs pour particuliers et petites entreprises/ *boilers & burners for homeowners & small companies* | 20 – 90 kWth | 26,5 |
| Nolting | Allemagne/ *Germany* | Chaudières et brûleurs pour particuliers et petites entreprises/ *boilers & burners for homeowners & small companies* | 10 – 3 000 kWth | 4,7 |
| Compte R. | France/ *France* | Chaudières et brûleurs pour minicipalité et industrie/*Boilers and burners for municipalities and industry* | 150 – 6 000 kWth | 10 |

# Ciclo neutro de emisiones de $CO_2$



# Instalaciones de Producción de Electricidad

| | **Plantas biomasa P< 2 MW** | | **Plantas biomasa P> 2 MW** | |
|---|---|---|---|---|
| | RD436 | Nuevo | RD436 | Nuevo |
| Cultivos energéticos | 6.9 | **16.4213** | 6.9 | **15.1501** |
| Res. Agrícolas y jardinería | 6.9 | **12.9921** | 6.9 | **11.1143** |
| Res. Forestales | 6.9 | **12.9921** | 6.9 | **12.2257** |
| Res. Ind. Agrícola | 6.1 | **12.9921** | 6.1 | **11.1143** |
| Res. Ind. Forestal | 6.1 | **9.5909** | 6.1 | **6.7260** |

# Instalaciones de Producción de Electricidad

## ¿Qué posibilidades se presentan en el sector industrial?

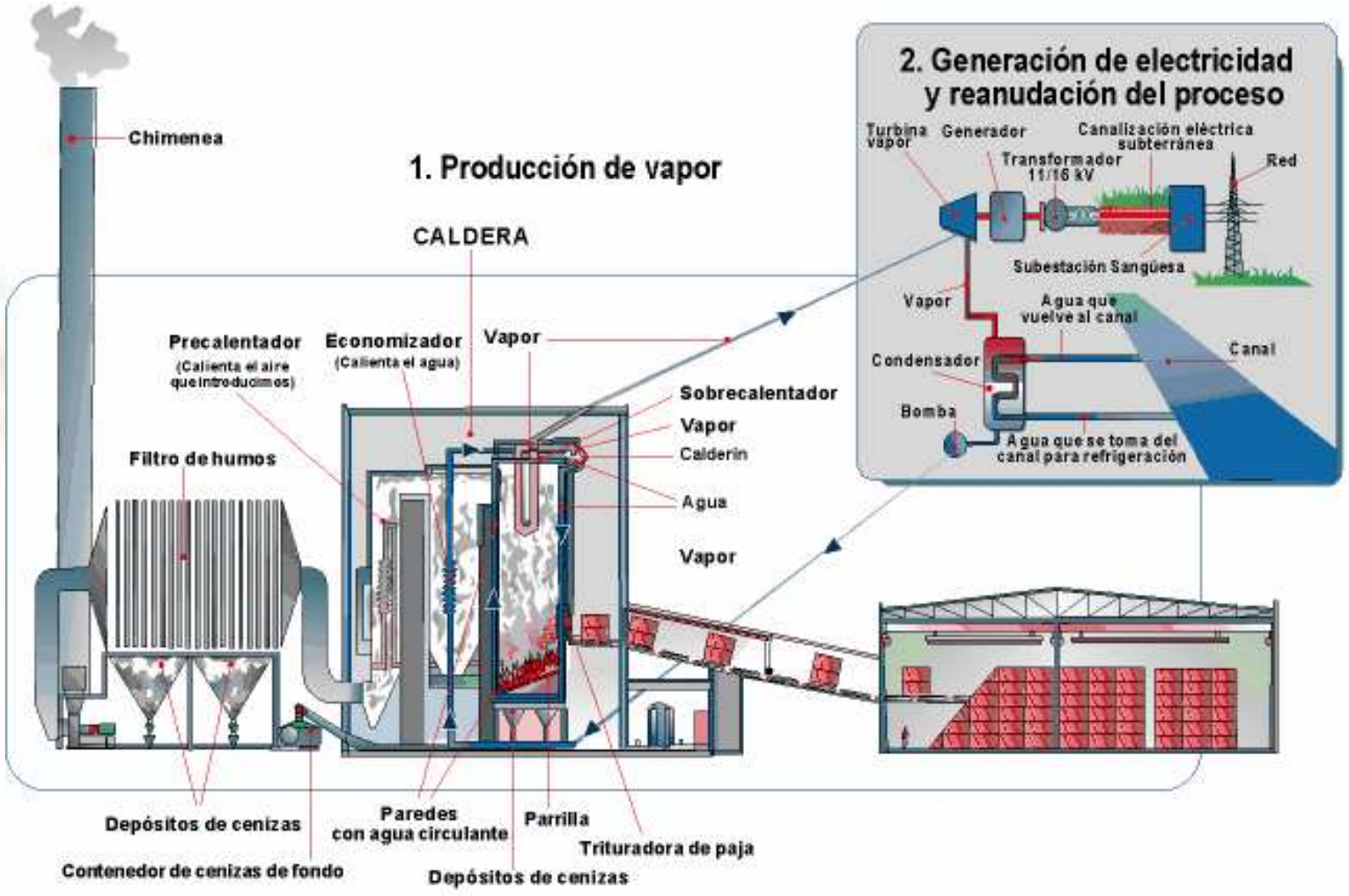
### Uso térmico

- Tarifas combustibles industriales **menores** que en residencial.
- Menor rentabilidad de la sustitución con biomasa.
- Uso de los **propios residuos** o biomasa con menor calidad.
- **Menos requerimientos** para las instalaciones.
- **Mayor facilidad** de operación.
- Introducción de la gasificación.

### Cogeneración

- **Mayor rendimiento** y rentabilidad de la inversión.
- **Problemas de estacionalidad** para algunas industrias del sector agroalimentario y forestal.
- Campo interesante para la **gasificación** de biomasa.
- Posibilidad de cogeneración en **redes de calefacción** centralizada.
- **Competencia** con la cogeneración con gas natural.

# Instalaciones de Producción de Electricidad. Combustión



# Instalaciones de Producción de Electricidad. Combustión

**Ejemplos PLANTAS**

**PLANTA DE SANGÜESA: 25 MW, 200 MkW/h.año**
**Biomasa: 160000 t/año paja**
**Vapor a 540ºC, 90 kg/cm², Alternador a 11 kV-66 kV**
**Coste: 50 M€**

**PLANTAS DE TALOSA Y PINASA: 4 MW**
**Biomasa: 25000 t/año residuos forestales, podas agrícolas y polvo 100% madera, 100% polvo de tablero, 50% polvo/50%madera**
**Calderas Vulcano/Sadeca**

**PLANTA DE MIAJADAS: 16 MW Operativa en 2010**
**Biomasa: 75000 t/año residuos herbáceos (paja maíz), 45000t/año residuos leñosos (poda olivar y vid, menos forestal)**
**Coste: 40 M€**

# GASIFICACIÓN

AGENTE GASIFICANT

$CO_2$

$$C + O_2 \rightarrow CO_2$$
$$C + 1/2\ O_2 \rightarrow CO$$

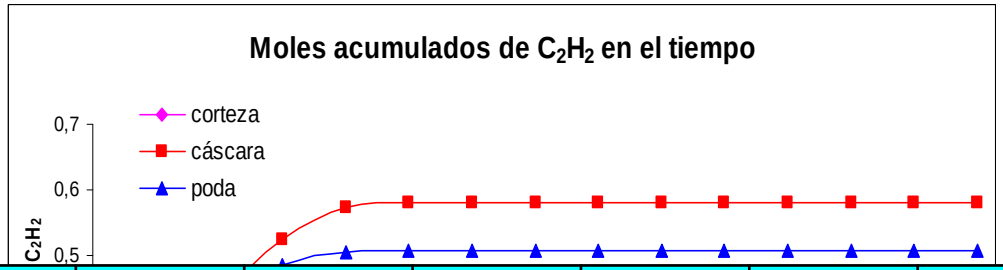
$$C + CO_2 \rightarrow 2CO$$

$$C + 2H_2 \rightarrow CH_4$$

$$C + H_2O \rightarrow H_2 + CO$$
$$CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO_2$$

tricidad
r
síntesis
lina, etc

# RESIDUOS DEL ALMENDRO




| Residuo | $O_2$ | $N_2$ | $H_2$ | CO | $CO_2$ | $CH_4$ | $C_2H_2$ | $C_2H_4$ | $C_2H_6$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Corteza | 3.52 | 54.21 | 12.03 | 13.71 | 11.27 | 3.96 | 0.04 | 0.98 | 0.27 |
| Cáscara | 2.74 | 50.94 | 14.79 | 12.89 | 11.81 | 5.69 | 0.08 | 0.83 | 0.23 |
| Poda | 2.58 | 51.47 | 13.15 | 16.17 | 10.69 | 4.84 | 0.07 | 0.89 | 0.15 |
| *C. arroz | 0.01-0.08 | 56.7-64.2 | 3.25-4.00 | 12.5-19.9 | 14.5-17.4 | 1.84-2.90 | 0.98-1.92 | | 0-0.22 |
| **C. arroz | 1.6 | 54.5 | 7.1 | 15.8 | 14.6 | 5 | 1.4 | | |

Mansaray et al. (1999)

Xin et al. (2002)

# Instalaciones de Producción de Electricidad. Gasificación




| Tipo de reactor | Lecho móvil contracorriente | Lecho móvil paralelo | Lecho Fluidizado | Transporte |
|---|---|---|---|---|
| Tamaño partícula mm | 2-50 | 20-100 | 0-20 | 0,1 |
| Estado de las cenizas eliminadas | Sólido o Líquido | Sólido | Sólido | Líquido |
| Presión de trabajo atm | 1-30 | 1 | 1-70 | 1-70 |
| Capacidad de procesamiento kg/h | 100-500 | 100-800 | 600-6000 | ---- |
| Modo de operación | Contracorriente | Corrientes paralelas | ---- | Corrientes paralelas |

# Biomasa

**Condiciones**

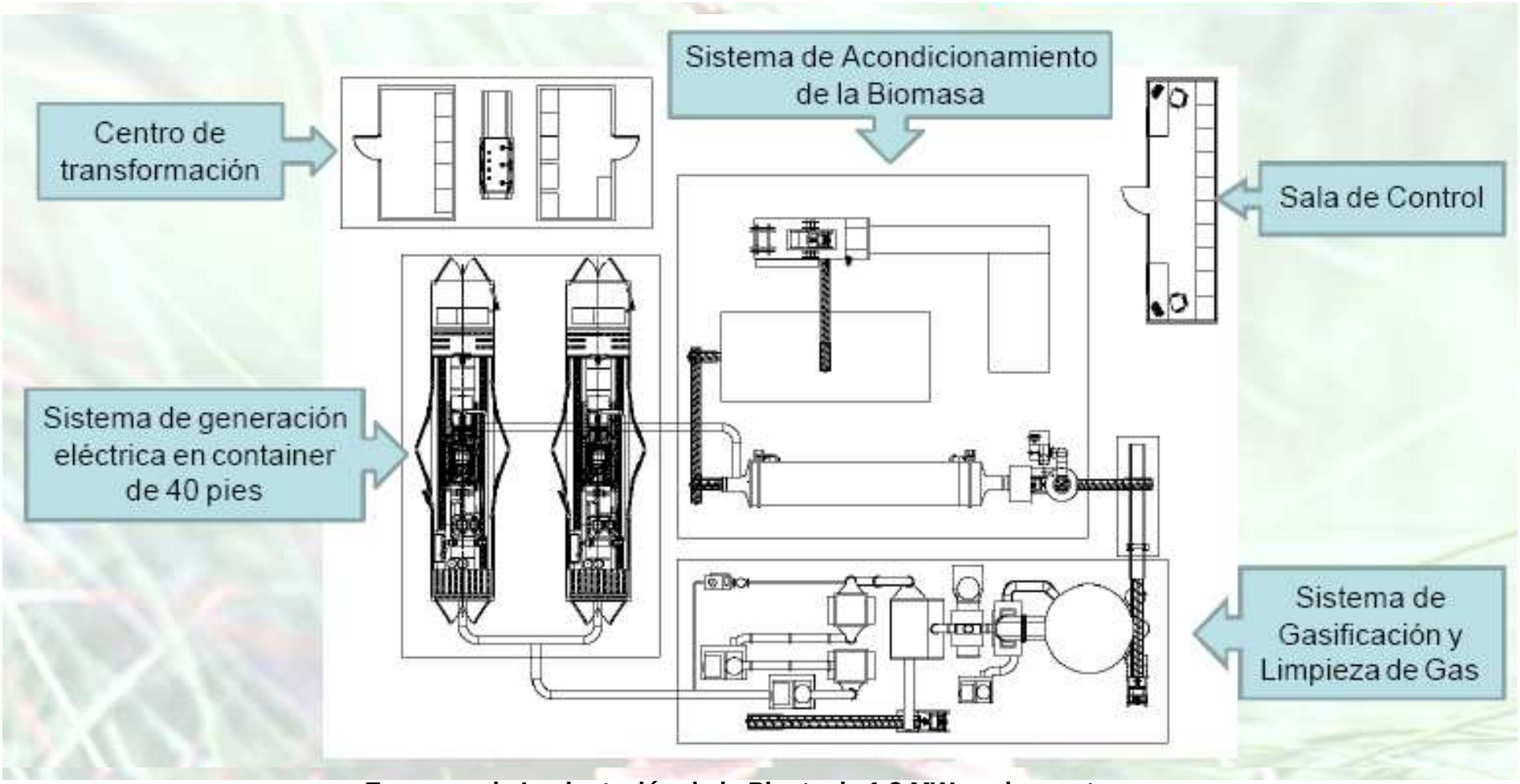
- Densidad mínima 200-250 kg/cm$^3$ (conductos verticales y lecho fluido)
- Tamaño homogéneo y estable con el tiempo y pequeño (reacciones)
- Φ bajo (calidad syngas, reactor más pequeño, aumentar t residencia)
- Φ 2-3 mm (no excesivamente pequeño, atasco y/o arrastre cenizas)

# TECNOLOGÍA

**ELECCIÓN**

- **Tipo y cantidad de biomasa (propiedades)**
- **Necesidades energéticas a cubrir (calor y electricidad)**
  **Motores: distribución de energía 33-38% electricidad, 35-40% agua ref. a 90ºC, 18-22% gases combustión, 5-8% pérdidas**
- **Factores medioambientales y económicos (propiedades syngas)**
  **Partículas, alquitranes, PCI, concentración, T**
  **Motores y turbinas de gas son más exigentes en calidad gas**
  **Minimizar partículas facilita la producción de alquitranes y viceversa**

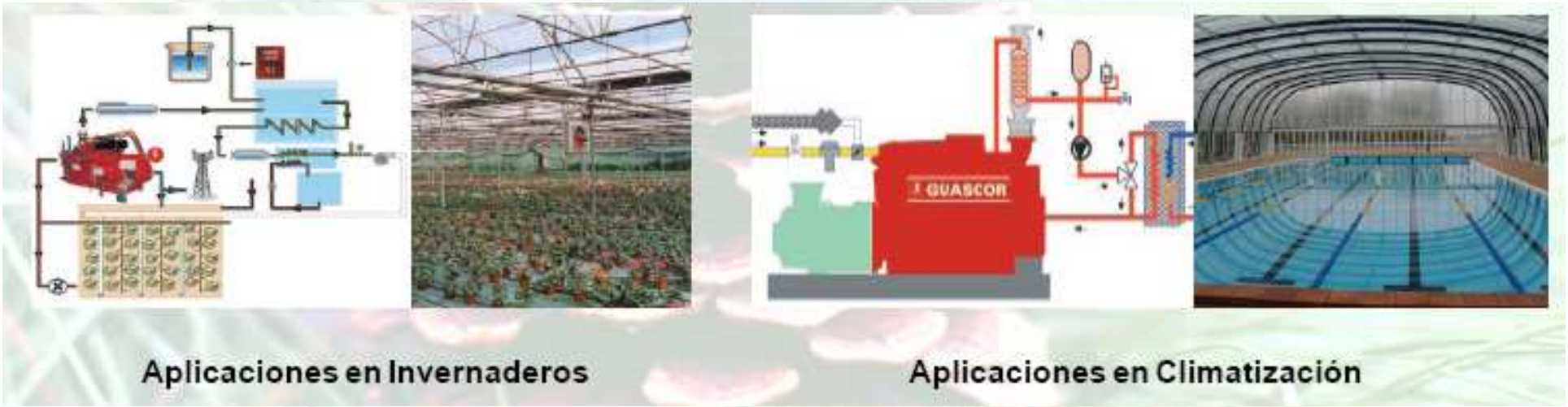
# Instalaciones de Producción de Electricidad. Gasificación




**Esquema de Implantación de la Planta de 1.2 MWe y dos motores.**

# Importancia del Aprovechamiento Térmico

**Complemento especial por eficiencia de 26,5 €/MWhe en red**

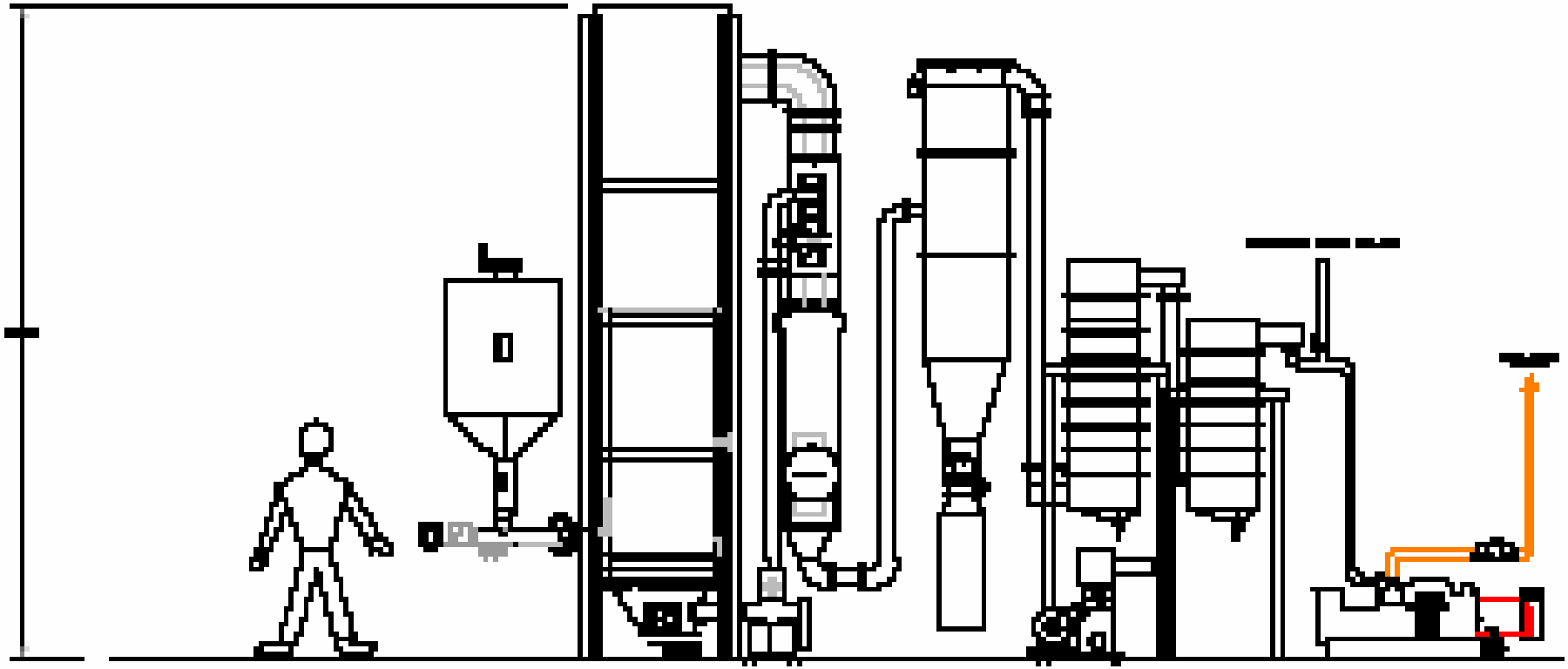


# Instalaciones de Producción de Electricidad. Gasificación

| Cogeneración con biomasa (gasificación) | | |
|---|---|---|
| Potencia bruta | | 1.224kW |
| Rendimiento gasificador | | 80,0% |
| Rendimiento motor | | 34,7% |
| Horas operación anual | | 7.500 h/año |
| Cantidad de biomasa consumida | $PCI_h$ = 3.200 kcal/kg | 8.887 t/año |
| Costes Biomasa | 69,05 €/t | 613.671 €/año |
| Costes de explotación | 3€/tep | 298.451 €/año |
| Inversión | 3.105 €/kW | 3,8 M€ |
| Producción eléctrica neta | | 8.262 MWh/año |
| Producción térmica disponible | | 8.250 MWh/año |

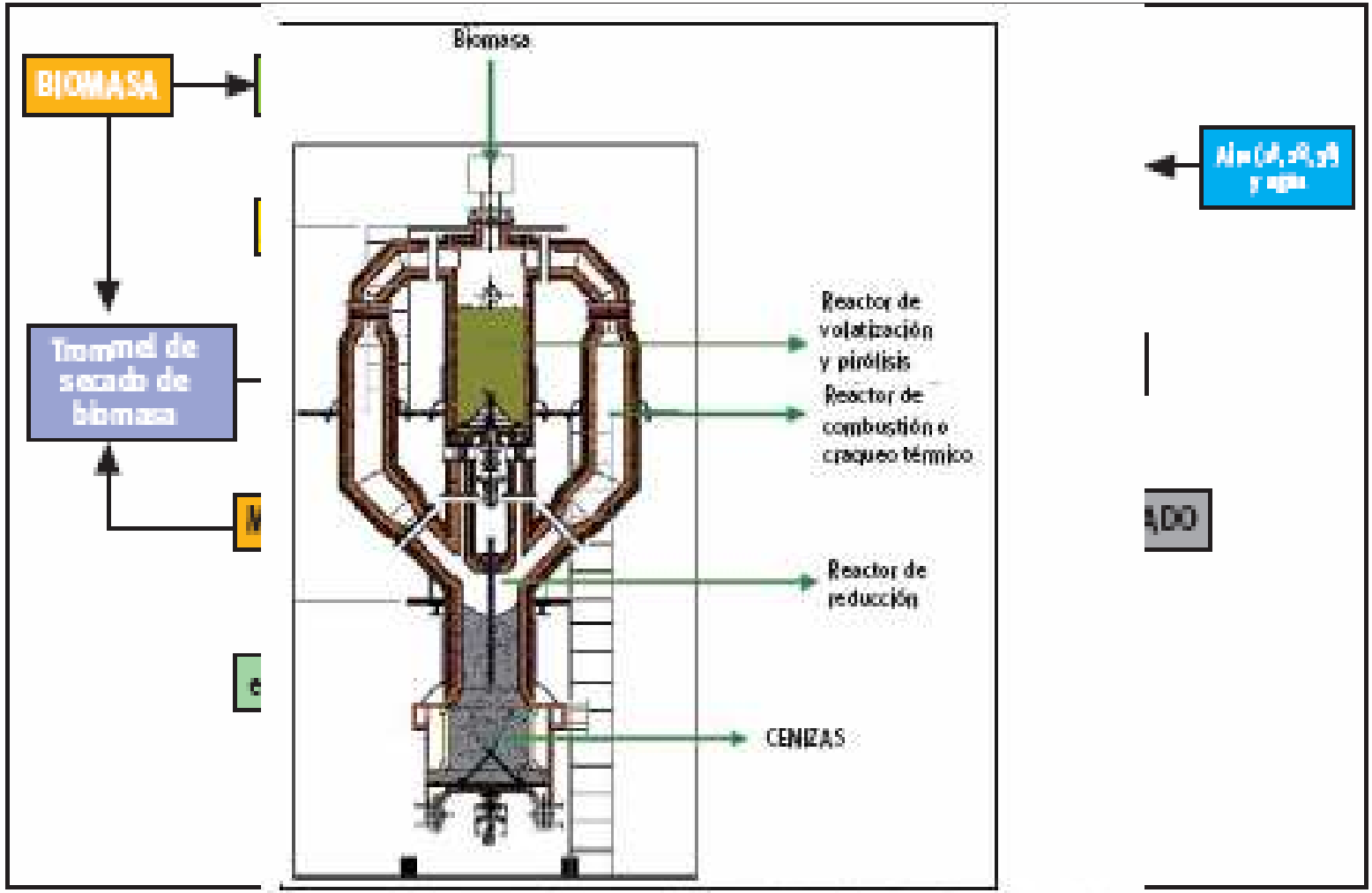
*Fuente: ENAMORA y elaboración propia.*

Planta Piloto de Generación de 50 kW



Sistema de control e instrumentación, Automatización

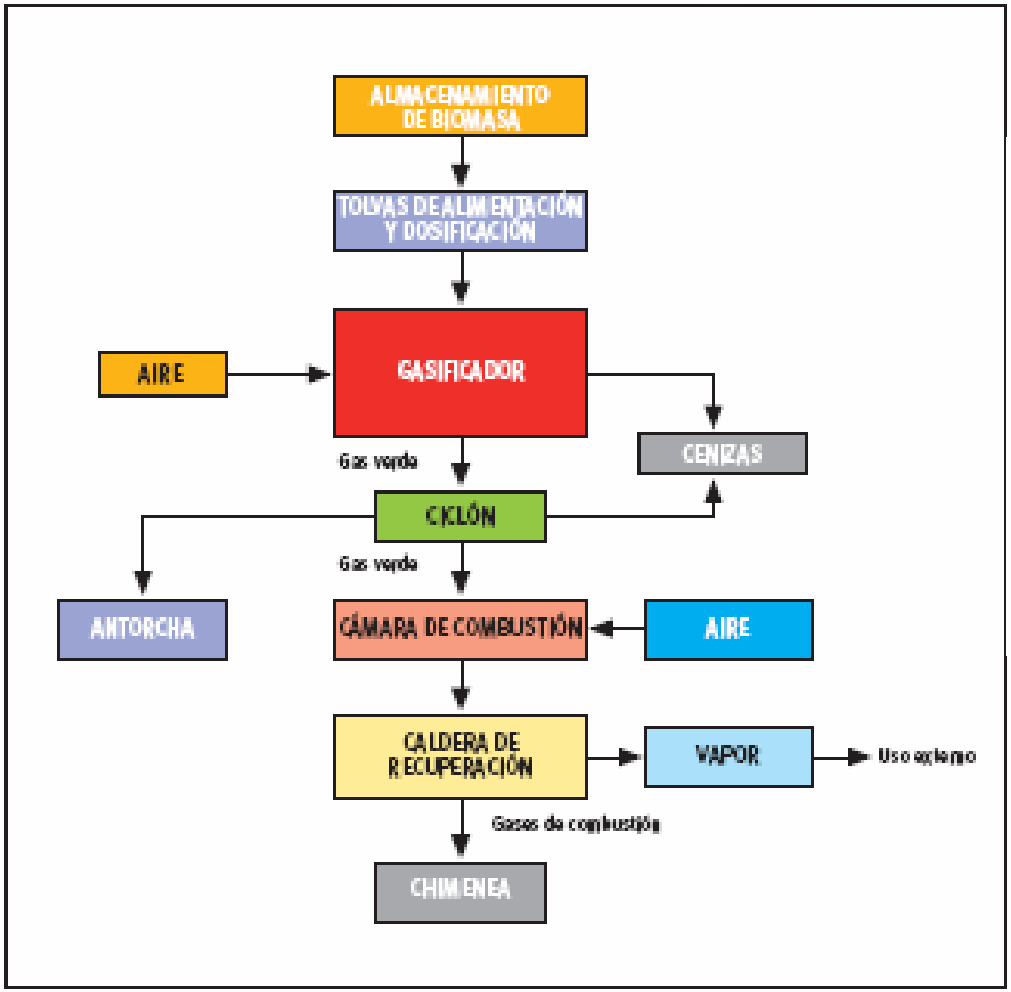
# TECNOLOGÍA GUASCOR




Esquema del reactor multi-etapa de la tecnología implantada por GUASCOR

Esquema de fun

# TECNOLOGÍA INERCO




*Esquema de funcionamiento de la tecnología de INERCO.*

| Tipo de gasificador | Lecho Fluido Burbujeante Atmosférico |
|---|---|
| Potencia térmica (MWth) | 3 |
| Agente gasificante | Aire |
| Presión (Bar) | - 0,3 |
| Temperatura de operación (ºC) | 800 |
| Tipo de biomasa a utilizar | Pelets/astillas de poda de olivar/orujillo |
| Capacidad de tratamiento de biomasa (tn/día) | 15 |
| Rendimiento térmico (%) | ≥80 |
| Personal necesario | 6 (1 operario a un turno + 1 responsable de planta) |

# TECNOLOGÍA TAIM-TFG

| Gasificación | |
|---|---|
| Tipo de gasificador | *Downdraft* |
| Caudal de syngas ($Nm^3/h$)[1] | 1.380 - 1.490 |
| Composición del syngas | $N_2$, 50-55%; $H_2$, 12-15%; CO, 15-20%; $CO_2$, 8-15%; $CH_4$, 2-5%; $C_2H_6$, 1% |
| PCI syngas ($kWh/Nm^3$)[1] | 1,52 - 1,61 |
| Potencia térmica (MWth) | 2,1 - 2,4 |
| Agente gasificante | Aire |
| Temperatura de operación (ºC) | 1.200 |
| Tipo de biomasa a utilizar | Diversos residuos agroforestales y madereros |
| Capacidad de tratamiento de biomasa (kg/h) | 650 - 700 |
| Humedad de la biomasa (%) | 20 - 30 |
| Rendimiento térmico (%) | 75 - 85 |
| Caudal agua de lavado y refrigeración ($m^3/h$)[2] | 0,50 |
| Cenizas (kg/h)[1] | 35 |
| **Motor-generador** | |
| Potencia eléctrica (kWe) | 767 |
| Rendimiento (%) | 36,1 - 37,3 |
| Potencia térmica aprovechable (kWt) | 1.200 |
| Potencia térmica aprovechable (kcal/h) | 1.021.782 |
| **Consumos y personal** | |
| Dedicación de personal | 1 turno de 1 persona, 5 días por semana |
| Autoconsumo eléctrico (%) | 10 - 14 |
| Aceite lubricante (kg/h) | 0,18 - 0,24 |

| Emisiones | |
|---|---|
| Acústicas dB(A) | ≤ 70 |
| Atmosféricas $NO_x$ ($mg/Nm^3$) | < 500 |
| Atmosféricas CO (ppm) | < 3.000 |



Motogenerador de syngas. Fuente: TAIM-TFG.

# Ciclos de Cogeneración

- Plantas con Motores Alternativos
- Plantas con Turbinas de Gas:
  * Ciclo Simple ($t_v$>10 t/h, $p_{vapor}$ usuario)
  * Ciclo Combinado (vapor a alta p y T, TV)
- Plantas con Turbinas de Vapor
- Trigeneración

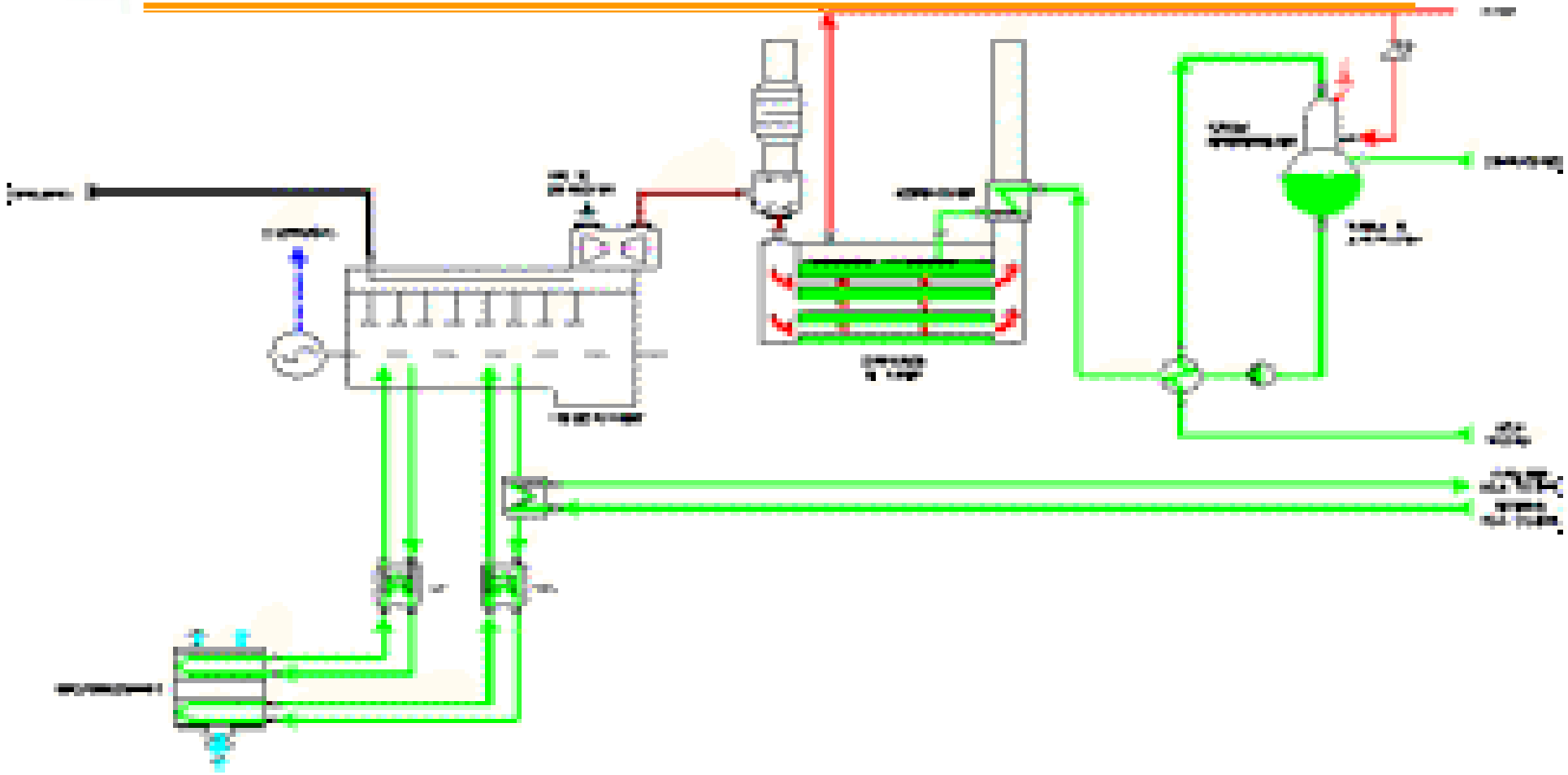
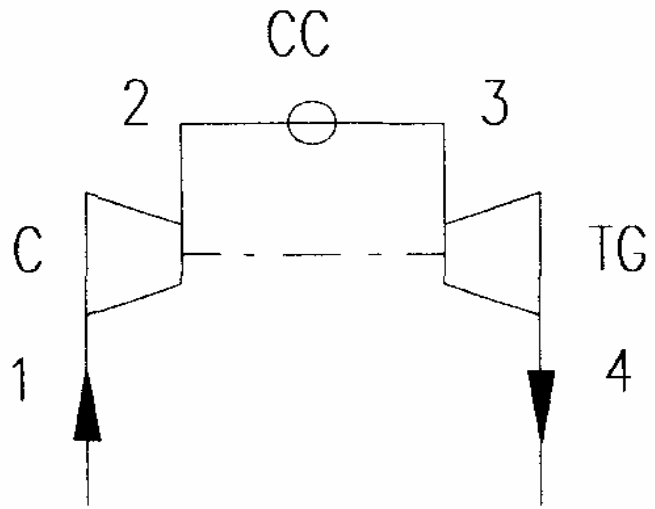
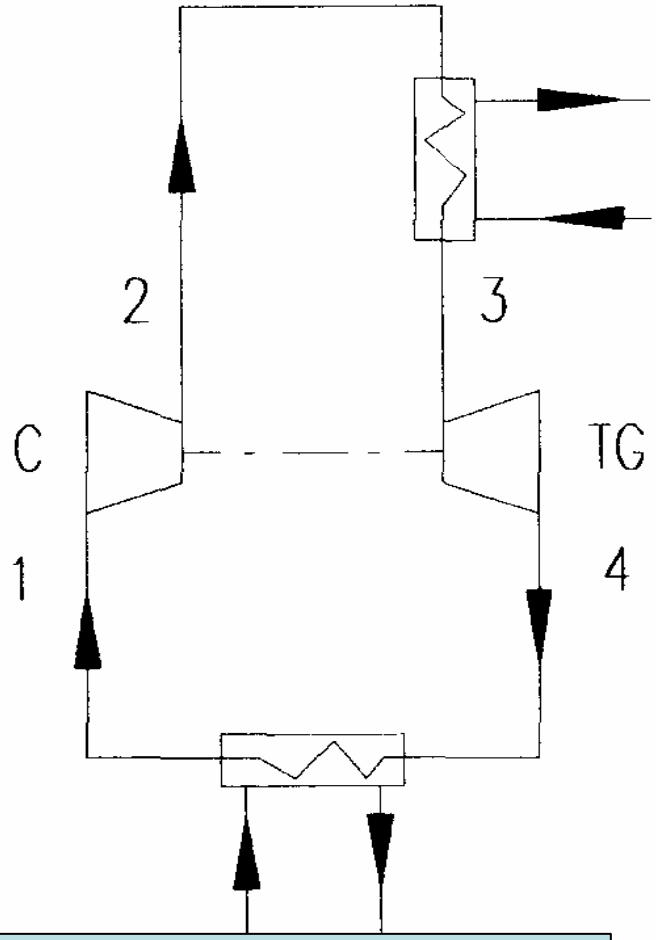


**Fig 1:Esquema de planta con motores alternativos**

Gas natural, fuel o gasóleo (1.5-10 MW)
Muy eficientes eléctricamente y poco térmicamente
Recuperación térmica según industria (vapor a 10 bar, FT, Agua ref.
producción de frío por absorción con gases o agua ref. motor)

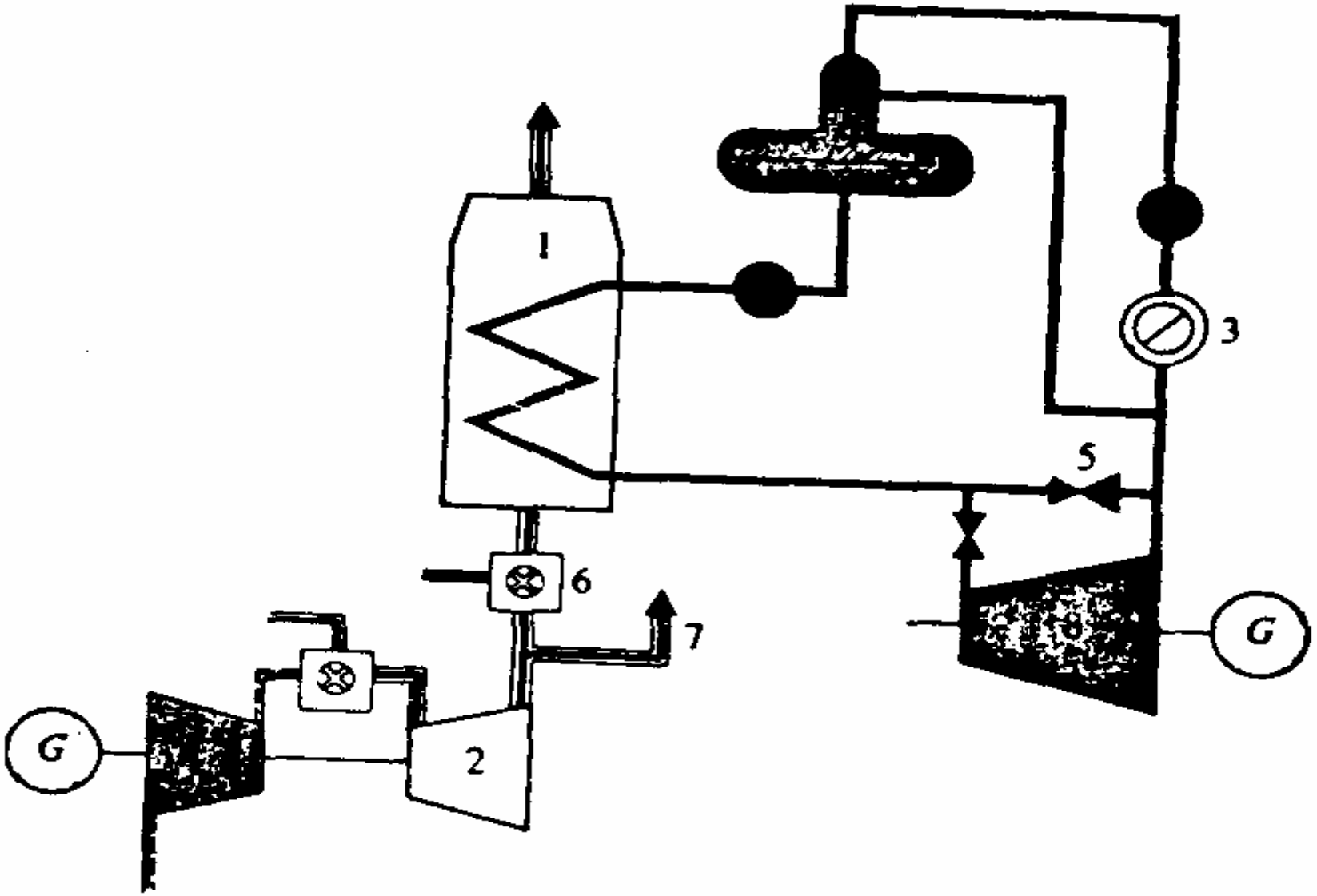
# Instalaciones de Producción de Electricidad. Cogeneración



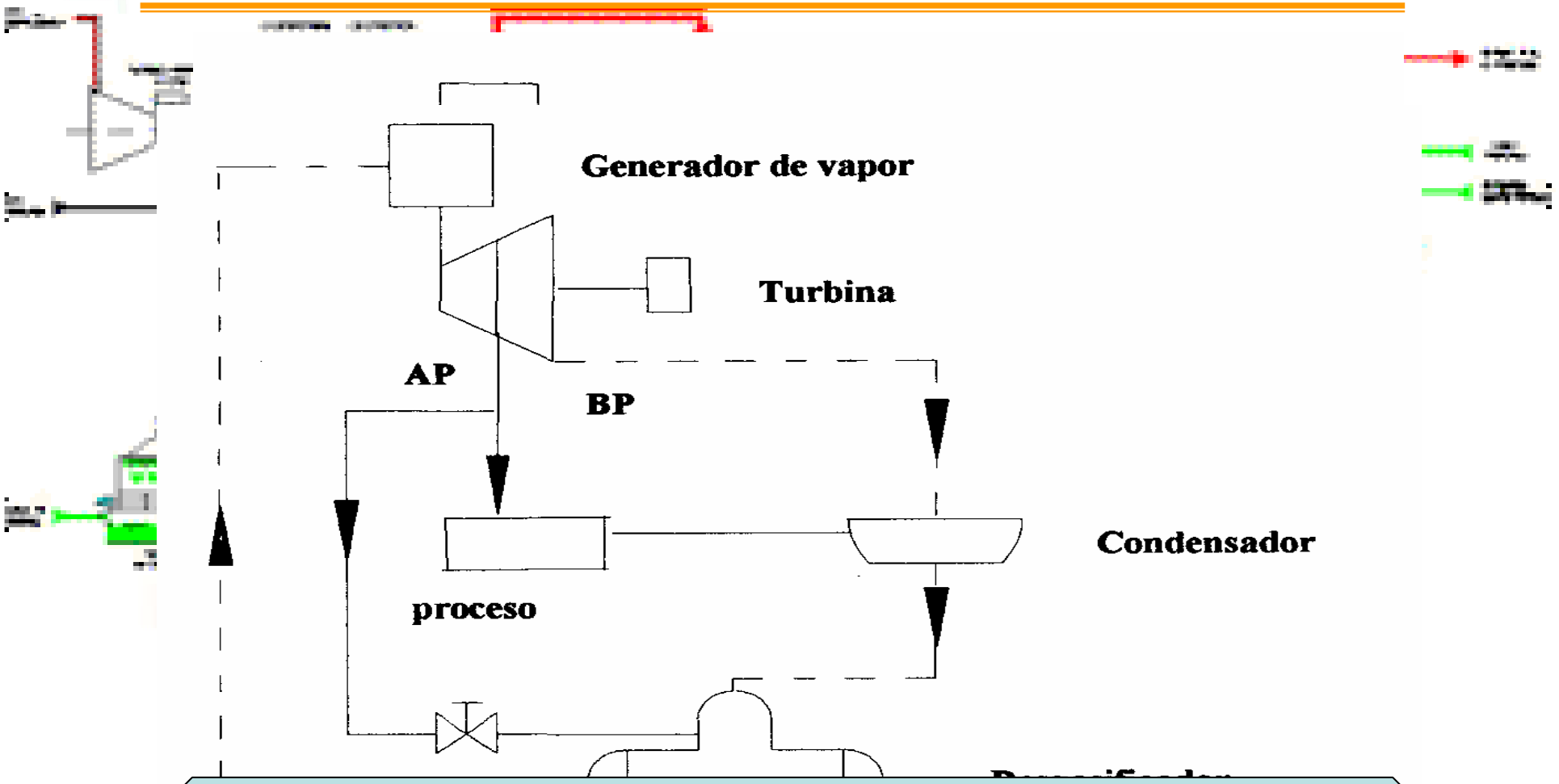




Turb
com

Rendimientos menores MACI, Fácil recuperación del calor (gases, 500ºC)
Son plantas de gran fiabilidad y economía
Diseño del sistema de recuperación del calor es crítico


1
3
5
6
7
G
2
G

# Instalaciones de Producción de Electricidad. Cogeneración




Gran capacidad de regulación ante demandas de vapor muy variables
Permite aprovechar la totalidad del vapor generado, regulando mediante la condensación del vapor que no se utiliza en el proceso (produciendo EE)

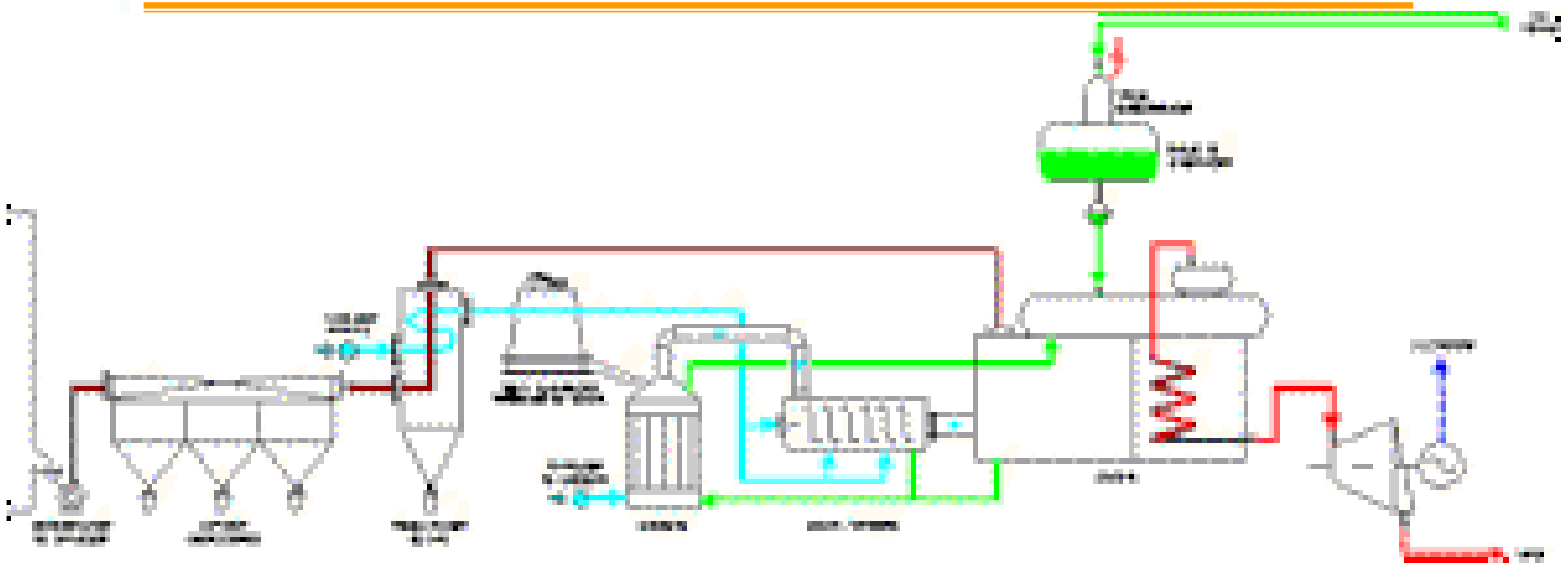


**Fig 5: Planta con turbina de vapor a condensación con biomasa**

Relegado a CC o Plantas con biomasa
La combustión de biomasa produce vapor
Se expansiona y cede calor a una red
De distribución de distrito

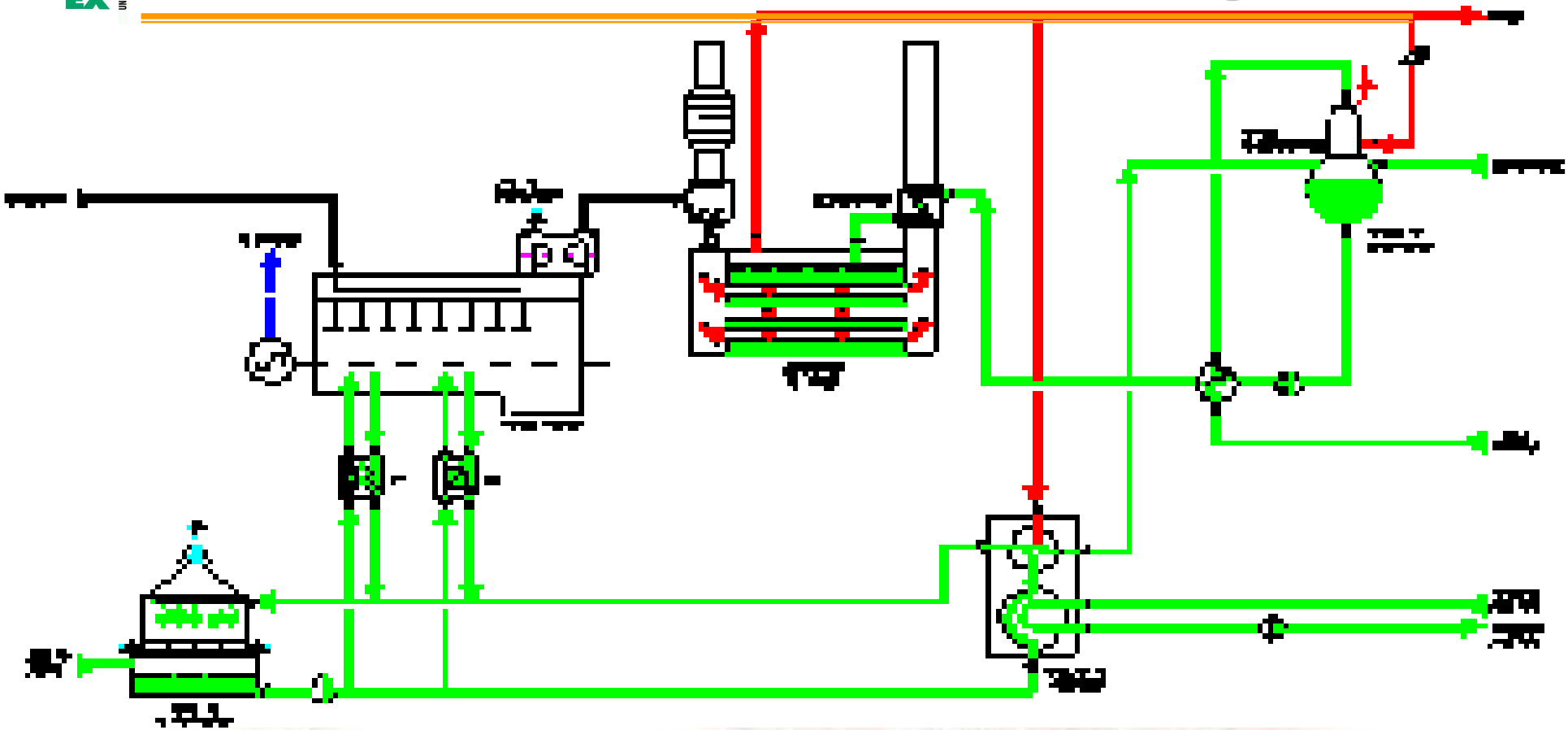
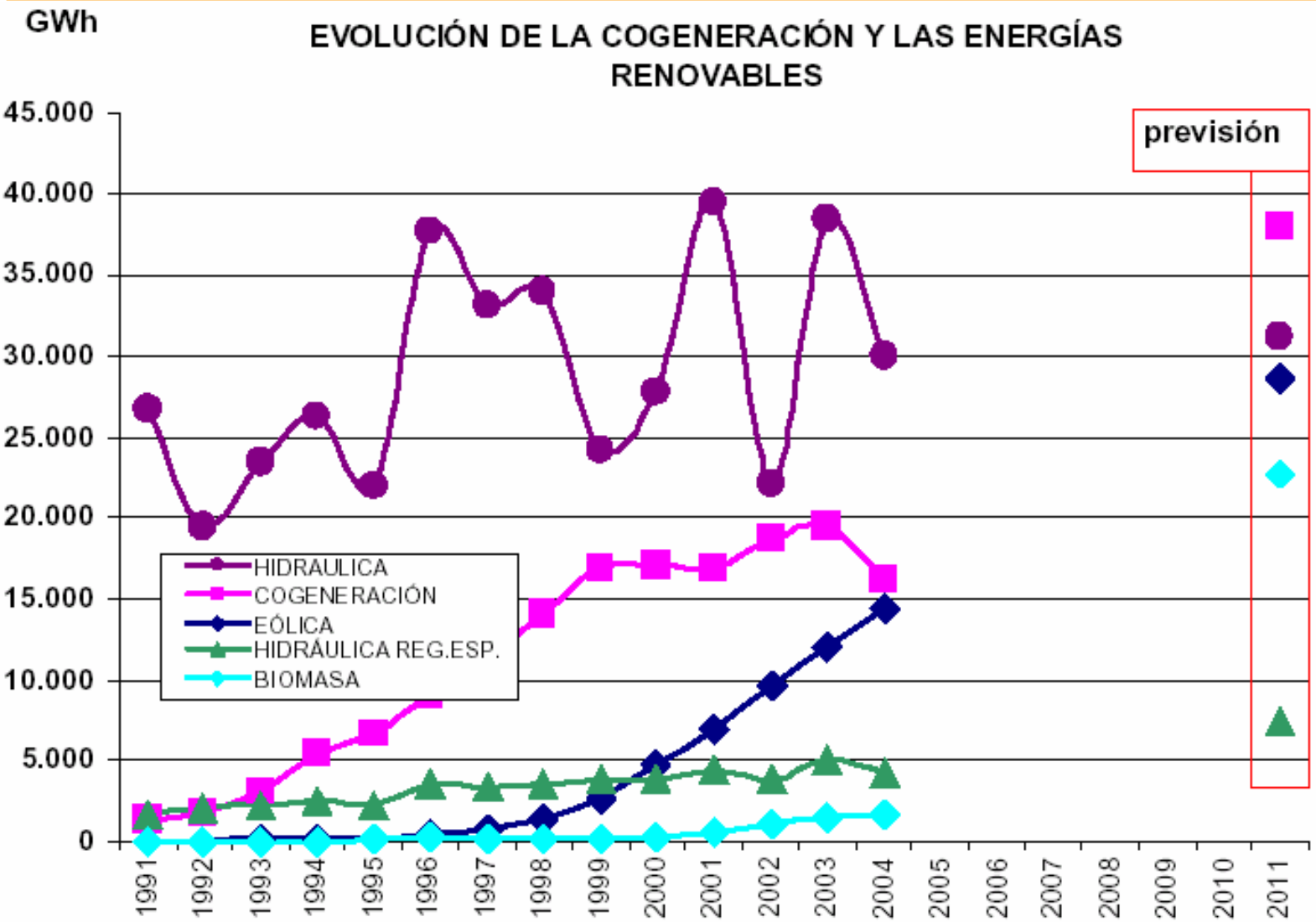


**Fig 11: Planta de trigeneración**

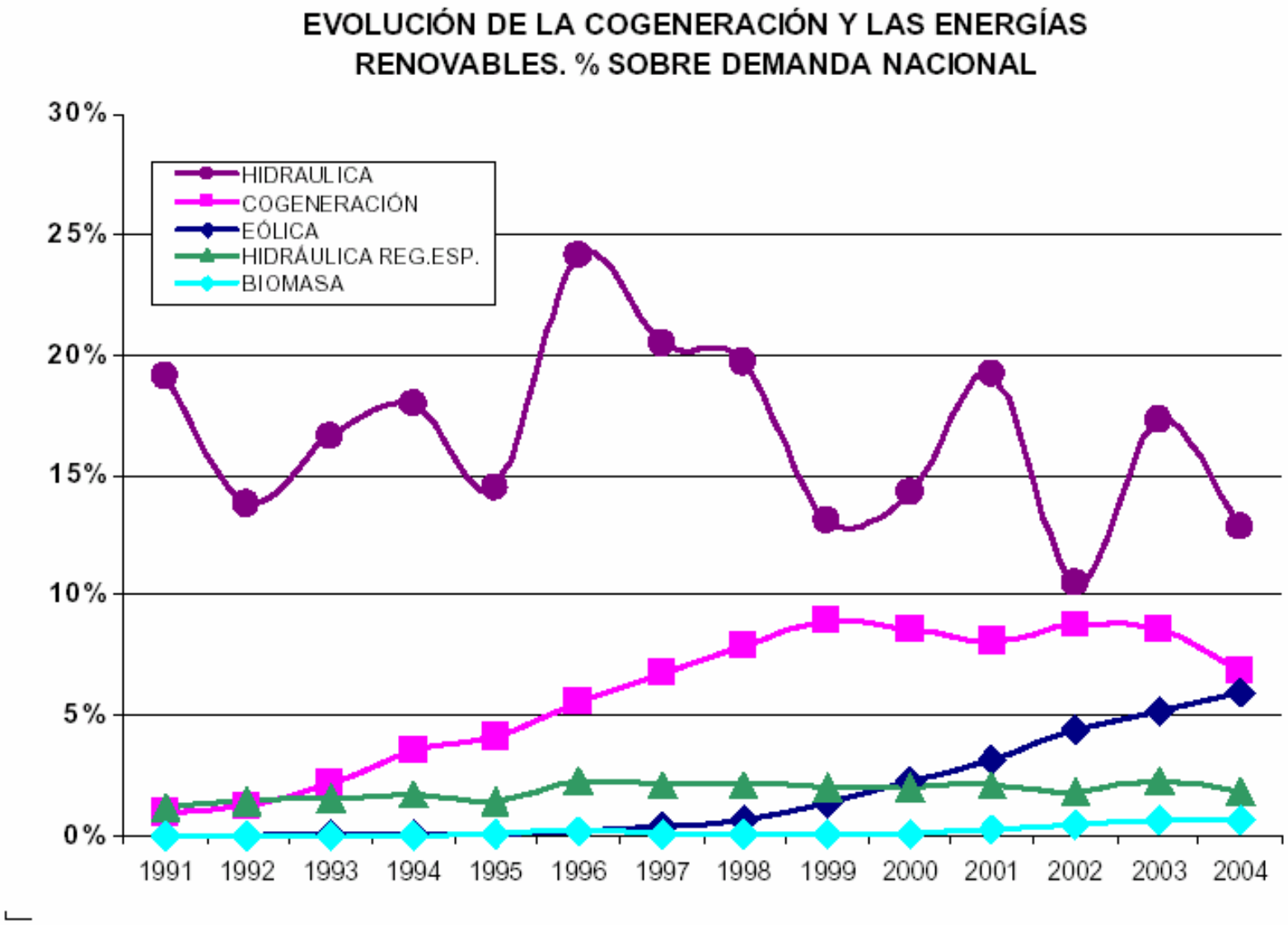
Cogeneración+Absorción/Frío
Ind. Del Sector alimentario que necesitan frío+EE
Hospitales, Hoteles con demanda de calor y frío

# Instalaciones de Producción de Electricidad. Cogeneración




*Base: Datos anuales informe CNE*

# Instalaciones de Producción de Electricidad. Cogeneración




*Base: Datos anuales informe CNE*

# Jornadas: Biocombustibles, Crisis Energética, Oportunidades de Negocio

## *Centrales de Calefacción y Electricidad a partir de Biomasa*



JUAN FÉLIX GONZÁLEZ GONZÁLEZ
(GAIRBER)

# GRACIAS POR SU ATENCIÓN

Escuela de Ingenierías Industriales
UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA

CIA Finca La Orden, 26 de Noviembre de 2008