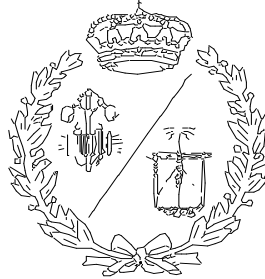


ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Proyecto / Trabajo Fin de Carrera

INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN CON BIOMASA

(Basic engineering for a Cogeneration Power Plant using
biomass)

Para acceder al Título de

INGENIERO INDUSTRIAL

Autor: Roberto Martínez Núñez

Diciembre 2012



ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL.....	I
DOCUMENTO 1: MEMORIA	I-1
Índice.....	I-2
Índice de tablas	I-4
Índice de figuras	I-5
1. Descripción del proyecto.....	I-6
2. Motivación.....	I-9
3. Ubicación	I-11
4. Funcionamiento de la planta.....	I-14
5. Biomasa empleada	I-16
5.1 Disponibilidad de biomasa forestal.....	I-16
5.1.1 Recursos aprovechables de origen forestal	I-17
5.1.2 Cuantificación de la biomasa disponible procedente de los residuos de las industrias de primera transformación	I-18
5.2 Características de la biomasa	I-19
6. Tecnología empleada	I-22
6.1 Elección de la tecnología de aprovechamiento de la biomasa.....	I-22
6.2 Aprovechamiento del gas de síntesis.....	I-23
6.2.1 Generación de energía eléctrica a partir de motores a gas.....	I-24
6.2.2 Generación de energía eléctrica a partir de turbinas	I-24



6.2.3	Comparación de las alternativas descritas	I-25
6.3	Elección del tipo de gasificador	I-26
6.3.1	Gasificador Updraft	I-27
6.3.2	Gasificador Downdraft	I-28
7.	Descripción de los equipos	I-30
7.1	Astilladora	I-30
7.2	Secador tipo trommel	I-31
7.3	Sistema gasificador	I-34
7.3.1	Gasificador	I-34
7.3.2	Sistema de acondicionamiento del gas de síntesis	I-35
7.3.3	Regulación del flujo del syngas	I-37
7.4	Grupo motogenerador	I-39
7.5	Transformador	I-40
8.	Planificación	I-41
8.1	Necesidades de personal	I-41
8.2	Diagrama de Gantt	I-42
9.	Estudio económico	I-44
10.	Conclusiones	I-47
ANEXO I: CÁLCULOS		I-49
Índice		I-50
Índice de tablas		I-52
Índice de figuras		I-53
1.	Requerimientos de combustible	I-54
1.1	Consumo de biomasa en el gasificador	I-54



1.2	Poder calorífico de la biomasa	I-55
1.3	Consumo de biomasa en planta.....	I-57
2.	Generación de energía térmica	I-58
2.1	Potencia térmica secado	I-58
2.2	Energía térmica recuperable	I-59
2.3	Energía térmica disponible para la venta	I-60
3.	Energía eléctrica generada.....	I-60
4.	Seguridad contra incendios	I-61
4.1	Capacidad de la nave de almacenamiento	I-61
4.2	Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco	I-62
4.2.1	Riesgo intrínseco del edificio de generación eléctrica.....	I-62
4.2.2	Riesgo intrínseco de la nave de almacenamiento	I-64
5.	Cálculo del rendimiento	I-65
5.1	Rendimiento de la instalación	I-65
5.2	Rendimiento Eléctrico Equivalente.....	I-65
6.	Régimen económico	I-67
6.1	Según el Real Decreto 661/2007	I-67
6.2	Según el Real Decreto 1/2012	I-71
6.3	Retribución por venta de energía térmica	I-74
7.	Análisis económico	I-76
ANEXO II: BIOMASA: ESTADO DEL ARTE.....		I-83
Índice.....		I-84
Índice de figuras		I-86



1.	Introducción	I-87
2.	Beneficios de la biomasa	I-89
2.1	Beneficios ambientales	I-89
2.2	Beneficios económicos	I-91
2.3.	Beneficios sociales	I-91
3.	Clasificación de la biomasa	I-92
3.1.	Según el origen biológico.....	I-92
3.2.	Según la composición química, en función del tipo de hidrato de carbono.....	I-93
3.3.	Según su destino final.....	I-93
3.4.	Según su contenido de humedad	I-94
4.	Fuentes de biomasa	I-94
5.	Situación actual	I-97
5.1	En el contexto mundial.....	I-97
5.2	En Europa.....	I-98
5.3	En España	I-100
5.4	En Castilla y León.....	I-104
6.	Marco legal	I-107
6.1	Marco normativo europeo	I-108
6.2	Marco normativo estatal.....	I-113
ANEXO III : APROVECHAMIENTO DE BIOMASA.....		I-119
Índice.....		I-120
Índice de tablas		I-122



Índice de figuras	I-123
1. Tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa.....	I-124
2. Factores limitantes.....	I-127
3. Tecnologías aplicables	I-129
3.1 Clareo	I-130
3.2 Claras o resalveos	I-133
3.3 Últimas claras y cortas finales en terreno suave.....	I-135
3.4 Últimas claras y cortas finales en pendiente	I-137
4. Tecnología del proceso.....	I-139
5. Costes biomasa	I-142
6. Biomasa disponible.....	I-143
6.1. Recursos biomásicos aprovechables de origen forestal	I-144
6.2. Cuantificación de la biomasa disponible procedente de los residuos de las industrias de primera transformación	I-149
7. Análisis de la biomasa utilizada	I-152
7.1. Análisis inmediato	I-152
7.2. Análisis elemental	I-153
7.3. Poder calorífico	I-154
7.4. Otras características	I-155
8. Secado biomasa	I-156
8.1 Secado natural.....	I-157
8.2. Secado forzado.....	I-161
8.1.1 Balance de materia	I-163
8.1.2 Balance de energía.....	I-164



ANEXO IV: TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN	I-165
Índice.....	I-166
Índice de tablas	I-168
Índice de figuras	I-169
1. Introducción	I-170
1.1 Procesos bioquímicos	I-170
1.1.1 Digestión anaerobia	I-170
1.1.2 Fermentación alcohólica.....	I-171
1.1.3 Procesos agro-mecánicos.....	I-171
1.1.4 Obtención de hidrógeno	I-172
1.2 Procesos termoquímicos.....	I-173
1.2.1 Combustión directa.....	I-173
1.2.2 Pirólisis	I-174
1.2.3 Gasificación	I-174
1.2.4 Licuefacción.....	I-175
2. Gasificación	I-176
2.1 Etapas en la gasificación.....	I-177
2.2 Factores de operación.....	I-177
2.3 Factores dependientes del residuo gasificado	I-178
2.4 Principales reacciones químicas	I-179
2.5 Tipos de gasificadores	I-181
3. Aprovechamiento energético del gas resultante	I-186
3.1 Cogeneración con motor alternativo de gas.....	I-187
3.2 Cogeneración con turbina de gas	I-190
3.3 Cogeneración con turbina de vapor	I-193
3.4 Cogeneración en ciclo combinado	I-194



3.5	Elección de la tecnología de cogeneración	I-195
3.6	Otras alternativas	I-197
3.6.1	Microturbinas.....	I-197
3.6.2	Pilas de combustible	I-198
4.	. Alquitranes.....	I-201
4.1	Alquitranes pesados.....	I-201
4.2	Alquitranes ligeros.....	I-202
4.3	Clasificación de los alquitranes	I-203
4.4	Punto de rocío de los alquitranes.....	I-204
4.5	Formas básicas de eliminar los alquitranes	I-204
5.	Selección del gasificador	I-205
ANEXO V: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS.....		I-2077
Índice.....		I-208
Índice de tablas		I-210
1.	Astilladora Eschlböck Biber-3	I-211
1.1	Datos técnicos.....	I-211
1.2	Dimensiones y peso	I-211
2.	Trommel de secado AYPE.....	I-212
2.1	Datos técnicos.....	I-212
2.2	Dimensiones	I-213
3.	Gasificador Ankur WBG-1250.....	I-214
3.1	Datos técnicos.....	214
3.2	Equipos para el acondicionamiento del gas	I-215



3.3	Dimensiones	I-215
4.	Grupo motogenerador Jenbacher JMS 612 GS-B.L.	I-216
4.1	Datos técnicos.....	I-216
4.2	Dimensiones y pesos	I-220
4.3	Motor a gas Otto.....	I-222
4.3.1	Equipos del motor	I-225
4.3.2	Sistema de refrigeración del motor	I-225
4.3.3	Circuito de aceite	I-226
4.4	Alternador síncrono trifásico autorregulado.....	I-227
4.5	Equipamiento del módulo	I-229
4.5.1	Alimentación de gas combustible	I-231
4.5.2	Dispositivo de arranque	I-231
4.5.3	Conexiones Elásticas	I-233
4.5.4	Silenciador.....	I-233
4.5.5	Sistema de ventilación	I-234
4.5.6	Container.....	I-235
4.6	Armarios de control	I-237
4.6.1	Armario de control del módulo.....	I-238
4.6.2	Armario de potencia	I-243
4.6.3	Central detectora de gas.....	I-244
4.6.4	Central detectora de humo.....	I-244
5.	Transformador Vegeta HE	I-245
5.1	Características técnicas	245
5.1.1	Circuito magnético	I-245
5.1.2	Bobinado de baja tensión	I-246
5.1.3	Bobinado de alta tensión	I-247
5.1.4	Parte activa	I-247
5.1.5	Cuba	I-248
5.2	Dimensiones	I-249



ANEXO VI : INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS	I-250
Índice.....	I-251
1. Caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios.....	I-253
1.1 Configuración y ubicación con relación a su entorno	I-253
1.2 Riesgo intrínseco.....	I-254
1.2.1 Riesgo intrínseco del edificio de generación	I-254
1.2.2 Riesgo intrínseco de la nave de almacenamiento	I-255
2. Requisitos constructivos de los establecimientos industriales	I-256
2.1 Sectorización de los establecimientos industriales.....	I-256
2.2 Materiales.....	I-257
2.3 Estabilidad y resistencia al fuego de los elementos constructivos portantes.....	I-258
2.4 Resistencia al fuego de los elementos constructivos de cerramiento.....	I-258
2.5 Evacuación de los edificios industriales	I-259
2.5.1 Número y disposición de las salidas.....	I-260
2.5.2 Dimensionamiento de salidas y pasillos	I-261
2.5.3 Señalización e iluminación	I-261
2.5.4 Ventilación y eliminación de humos y gases de la combustión en los edificios industriales	I-261
3. Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales.....	I-262
3.1 Sistemas manuales de alarma de incendio	I-262
3.2 Extintores de incendio	I-262
3.3 Sistema de boca de incendios equipadas	I-263
3.4 Sistemas de alumbrado de emergencia	I-264
3.5 Señalización	I-265



4.	Riesgo de fuego forestal	I-265
----	--------------------------------	-------

DOCUMENTO 2 : PLANOS	II-1
----------------------------	------

Índice de planos	II-2
------------------------	------

1.	Localización de la planta.....	II-3
----	--------------------------------	------

2.	Ubicación de la parcela.....	II-4
----	------------------------------	------

3.	Distribución de la parcela.....	II-5
----	---------------------------------	------

4.	Distribución en planta básica	II-6
----	-------------------------------------	------

5.	Distribución en planta detallada.....	II-7
----	---------------------------------------	------

6.	Secador tipo trommel.....	II-8
----	---------------------------	------

7.	Alzado gasificador	II-9
----	--------------------------	------

8.	Planta gasificador	II-10
----	--------------------------	-------



DOCUMENTO 3 :PLIEGO DE CONDICIONES	III-1
Índice.....	III-2
Índice de tablas	III-6
1. Descripción y objeto del pliego	III-7
1.1 Objeto del pliego	III-7
1.2 Descripción de las instalaciones	III-9
2. Normas generales	III-10
2.1 General	III-10
2.2 Seguridad y Salud laboral	III-11
2.3 Instalaciones	III-13
2.4 Medio Ambiente y Territorio	III-14
3. Condiciones de instalaciones y equipos	III-17
3.1 Prescripciones generales	III-17
3.2 Especificaciones técnicas de equipos e instalaciones	III-19
3.2.1 Astilladora	III-19
3.2.2 Secador.....	III-19
3.2.3 Grupo gasificador.....	III-20
3.2.4 Grupo motogenerador.....	III-21
3.2.5 Transformador	III-22
3.2.6 Instalación de Baja Tensión.....	III-23
4. Condiciones de ejecución, montaje y operación.....	III--31
4.1 Condiciones de suministro, montaje y operación	III-31
4.2 Anomalías en el funcionamiento, defectos o incumplimiento de especificaciones	III-31
4.3 Calidad de los materiales	III-32
4.4 Precauciones durante el montaje y funcionamiento	III-32



4.5	Gestión de residuos	III-32
4.5.1	Objeto	III-32
4.5.2	Subcontratación de gestores autorizados	III-33
4.5.3	Actividades	III-33
4.6	Control de accesos.....	III-34
5.	Condiciones de mantenimiento.....	III-35
5.1	Mantenimiento correctivo	III-35
5.1.1	Tiempos de respuesta	III-35
5.2	Mantenimiento preventivo	III-37
5.2.1	Revisión inicial de equipos e instalaciones y seguimiento de garantías	III-37
5.2.2	Programa de mantenimiento preventivo	III-39
6.	Pruebas de recepción	III-47
6.1	Equipos	III-47
6.1.1	Pruebas de funcionamiento secador	III-47
6.1.2	Pruebas de funcionamiento grupo gasificador	III-47
6.1.3	Pruebas de funcionamiento del motor	III-48
6.1.4	Pruebas de funcionamiento del alternador	III-48
6.1.5	Pruebas de funcionamiento del grupo motogenerador	III-49
6.2	Estanqueidad de tuberías	III-50
6.2.1	Preparación y limpieza de redes de tuberías.....	III-50
6.2.2	Prueba preliminar de estanqueidad	III-50
6.2.3	Prueba de resistencia mecánica.....	III-50
6.2.4	Reparación de fugas.....	III-51
6.3	Pruebas de libre dilatación	III-51
6.4	Pruebas en redes de conductos.....	III-52
6.5	Estanqueidad de chimeneas	III-52
6.6	Pruebas finales.....	III-52
6.6.1	Ajuste y equilibrado	III-53
6.6.2	Control automático	III-54



6.7	Eficiencia energética	III-54
6.8	Certificado de la instalación y recepción provisional	III-55
6.9	Documentación a tramitar	III-55
6.9.1	Información a aportar por el productor.....	III-56
6.9.2	Información a aportar por Iberdrola.....	III-56
6.9.3	Información a entregar con el proyecto	III-56
7.	Medición y abono.....	III-59
8.	Condiciones que debe cumplir el ejecutor de la obra	III-61
8.1	Conocimiento previo del proceso y las tecnologías empleadas	III-61
8.2	Seguros.....	III-61
8.3	Prevención de riesgos laborales	III-61
8.3.1	Seguridad e higiene.....	III-61
8.3.2	Plan de Seguridad y Salud	III-62
8.3.3	Planes de autoprotección y emergencia.....	III-62
DOCUMENTO 4: PRESUPUESTO		IV-1
Índice.....		IV-2
Índice de tablas		IV-3
1.	Cuadro de mediciones	IV-4
2.	Cuadro de precios	IV-5
3.	Presupuesto ejecución material	IV-6
4.	Resumen	IV-7



DOCUMENTO 5 : SEGURIDAD Y SALUD	V-1
Índice.....	V-2
1. Datos informativos del proceso.....	V-4
1.1 Emplazamiento.....	V-4
1.2 Número de trabajadores.....	V-4
1.3 Climatología	V-4
1.4 Actuación en caso de accidente.....	V-4
2. Condiciones de seguridad y salud	V-5
2.1 Superficie y cubicación.....	V-7
2.2 Suelos techos y paredes	V-7
2.3 Iluminación	V-7
2.4 Ruidos, vibraciones y trepidaciones	V-8
2.5 Botiquín	V-8
3. Ventilación	V-9
3.1 Aseos	V-9
3.2 Zona industrial.....	V-9
4. Aplicación de la seguridad en las máquinas y herramientas	V-10
4.1 Astilladora	V-10
4.2 Secador	V-11
4.3 Gasificador	V-12
4.4 Grupo motogenerador	V-13
4.5 Transformador.....	V-14
4.6 Herramientas manuales	V-15



DOCUMENTO 6 : IMPACTO AMBIENTAL	VI-1
Índice.....	VI-2
1. Clasificación de la actividad en la legislación	VI-3
2. Agua y vertidos líquidos.....	VI-4
2.1 Abastecimiento.....	VI-4
2.2 Saneamiento	VI-4
2.3 Potenciales vertidos	VI-5
3. Ruidos.....	VI-6
4. Emisiones a la atmósfera.....	VI-7
5. Residuos.....	VI-9
6. Efectos sobre el medio	VI-10
 Bibliografía.....	B-I
LIBROS Y ARTÍCULOS	B-I
VÍNCULOS WEB.....	B-IV
LEGISLACIÓN	B-V

DOCUMENTO 1: MEMORIA



Índice

Índice de tablas.....	I-4
Índice de figuras.....	I-5
1. Descripción del proyecto.....	I-6
2. Motivación.....	I-9
3. Ubicación	I-11
4. Funcionamiento de la planta.....	I-14
5. Biomasa empleada	I-16
5.1 Disponibilidad de biomasa forestal	I-16
5.1.1 Recursos aprovechables de origen forestal	I-17
5.1.2 Cuantificación de la biomasa disponible procedente de los residuos de las industrias de primera transformación.....	I-18
5.2 Características de la biomasa.....	I-19
6. Tecnología empleada	I-22
6.1 Elección de la tecnología de aprovechamiento de la biomasa	I-22
6.2 Aprovechamiento del gas de síntesis	I-23
6.2.1 Generación de energía eléctrica a partir de motores a gas.....	I-24
6.2.2 Generación de energía eléctrica a partir de turbinas.....	I-24
6.2.3 Comparación de las alternativas descritas.....	I-25
6.3 Elección del tipo de gasificador	I-26
6.3.1 Gasificador Updraft	I-27
6.3.2 Gasificador Downdraft.....	I-28



7. Descripción de los equipos	I-30
7.1 Astilladora	I-30
7.2 Secador tipo trommel.....	I-31
7.3 Sistema gasificador	I-34
7.3.1 Gasificador	I-34
7.3.2 Sistema de acondicionamiento del gas de síntesis	I-35
7.3.3 Regulación del flujo del syngas	I-37
7.4 Grupo motogenerador.....	I-39
7.5 Transformador	I-40
8. Planificación.....	I-41
8.1 Necesidades de personal	I-41
8.2 Diagrama de Gantt	I-42
9. Estudio económico	I-44
10. Conclusiones	I-47



Índice de tablas

Tabla 1.1. Biomasa parte burgalesa comarca de Pinares	I-17
Tabla 1.2. Subproductos generados en el entorno	I-18
Tabla 1.3. Caracterización energética biomasa pino silvestre	I-21
Tabla 1.4 Ventajas y desventajas de los motores a gas	I-24
Tabla 1.5. Ventajas y desventajas de las turbinas a gas.	I-24
Tabla 1.6 Características de los diferentes tipos de gasificadores	I-26



Índice de figuras

Figura 1.1. Esquema del funcionamiento de la planta	I-8
Figura 1.2. Localización de la planta.....	I-11
Figura 1.3. Biomasa de la vecindad (30 km).....	I-12
Figura 1.4 Polígono Industrial Las Vegas	I-13
Figura 1.5. Montes de utilidad pública de Castilla y León	I-16
Figura 1.6 Gasificador de lecho fijo Updraft.....	I-27
Figura 1.7 Gasificador de lecho fijo Downdraft	I-29
Figura 1.8. Astilladora Eschlböck Biber-3	I-30
Figura 1.9. Esquema secador tipo trommel	I-31
Figura 1.10. Secador trommel AYPE	I-32
Figura 1.11. Ankur WBG-1250.....	I-35
Figura 1.11. Esquema sistema acondicionamiento.....	I-37
Figura 1.12. Esquema del grupo gasificador	I-38
Figura 1.13. Jenbacher JMS 612 GS-BL	I-39
Figura 1.14. Transformador Vegeta HE	I-40
Figura 1.15. Diagrama de Gantt.....	I-43



1. Descripción del proyecto

La instalación permitirá aprovechar el gas de síntesis generado en el proceso de gasificación de biomasa, mediante su utilización en motores de combustión interna para la producción de energía a partir de biomasa forestal procedente de los tratamientos silvícolas realizados en la Comarca de Pinares, Burgos.

Todo el proceso de dimensionamiento y diseño de la planta se ha realizado con el fin de obtener el máximo rendimiento eléctrico posible, de ahí que se haya determinado la gasificación de la biomasa y su utilización de motores de combustión interna.

En concreto, como se especifica en el anexo de cálculos (Anexo I), la planta generará *1.431,32 kW de energía eléctrica y 1.280,42 kW de energía térmica* para su aprovechamiento con un funcionamiento de 7.500 horas anuales.

La energía eléctrica neta generada será elevada de tensión por medio de un transformador de potencia para su evacuación a la red en el punto de interconexión que determine por la compañía distribuidora.

Paralelamente, la planta se complementa con procesos de aprovechamiento térmico, que permitirá su clasificación como cogeneración. El proceso de aprovechamiento teórico considerado es la utilización del calor contenido en los circuitos de agua y escapes de los motores en el secado de la biomasa y aplicaciones térmicas en la proximidad de la instalación.

Para llevar a cabo este proceso satisfactoriamente, se construirán dos naves.

- Una nave que se utilizará como almacén el combustible para que la planta pueda operar sin necesidad de suministro durante 5 días, que precisa de una superficie de 846 m².

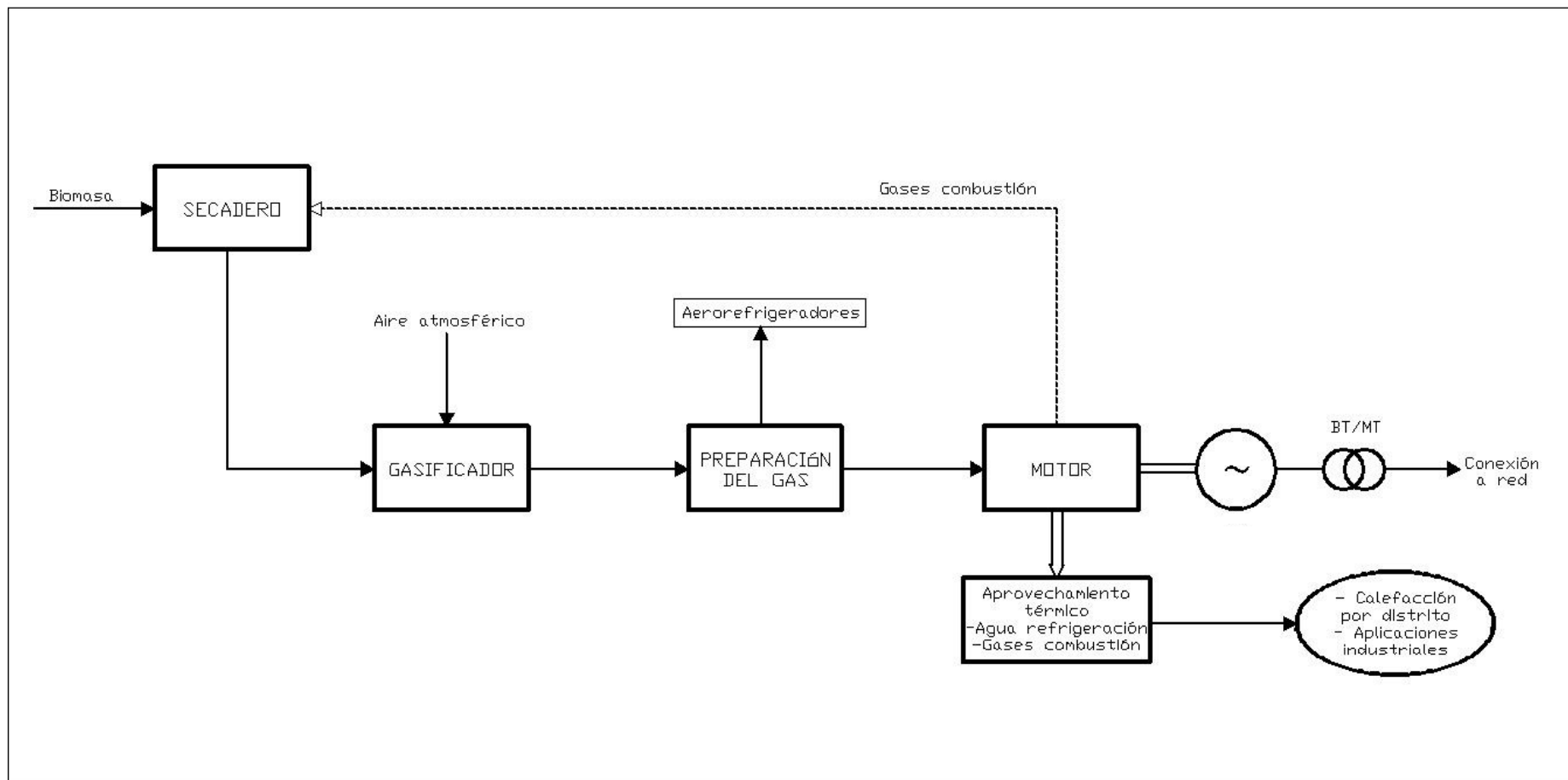


- Otra nave que contiene el proceso industrial propiamente dicho y ocupa una superficie de 840 m^2 . Dentro de la nave se podrán diferenciar los siguientes subsistemas:
 - Tolva de alimentación de biomasa
 - Secado forzado de la biomasa
 - Gasificación y acondicionamiento del gas de síntesis
 - Generación energía eléctrica
 - Generación energía térmica

En la página siguiente, se muestra un esquema general de la planta en la figura 1.1



Figura 1.1. Esquema del funcionamiento de la planta





2. Motivación

Son varios y diversos los objetivos que han llevado a plantear un proyecto de estas características.

En primer lugar, la *optimización de los recursos* forestales presentes en la zona, de modo que su valorización sea realizada de manera local y proporcionada.

Fomentando las condiciones adecuadas para la creación y sostenibilidad de una industria vinculada a la bioenergía, se producirá en la comarca una *diversificación energética*, obteniendo cierta parte de independencia energética.

Un hecho también importante es el *desarrollo rural*. Con la promoción y desarrollo de proyectos vinculados a la biomasa se colabora a modernizar y dinamizar el sector forestal de la comarca, y contribuyendo a asentar el tejido industrial y empresarial de los municipios aledaños y, por tanto, de la comarca completa.

La aparición de esta actividad motiva también un *interés social*, al producirse un efecto positivo en el empleo directo porque permite el empleo de personas para efectuar la actividad una vez implantada. Este efecto se considera de intensidad e importancia moderadas. Asimismo, también se contribuye al empleo indirecto durante la instalación del equipamiento y la posterior explotación, ya que el normal mantenimiento de la maquinaria se efectuará con personal propio, no siendo así las reparaciones y el mantenimiento de importancia.

En cuanto a *factores medioambientales*, a nivel europeo se ha planteado el objetivo de que en el 2020 el 20% de la cuota en el consumo de energía final sea procedente de energías renovables. La cogeneración es un instrumento clave para la eficiencia energética y la reducción de emisiones de gases invernaderos, aportando un ahorro energético significativo. La situación esperada en el caso del gas natural para la producción de energía eléctrica y energía térmica es una convergencia a favor de la cogeneración.



Esto lleva a una visión de un desarrollo ambientalmente sostenible, ya que se asegura en todo momento la conservación y mejora del medio natural.

Por tanto, desde el momento de la implantación de la actividad, ésta supondrá un impacto positivo de intensidad e importancia moderadas en el lugar donde se desarrolla.



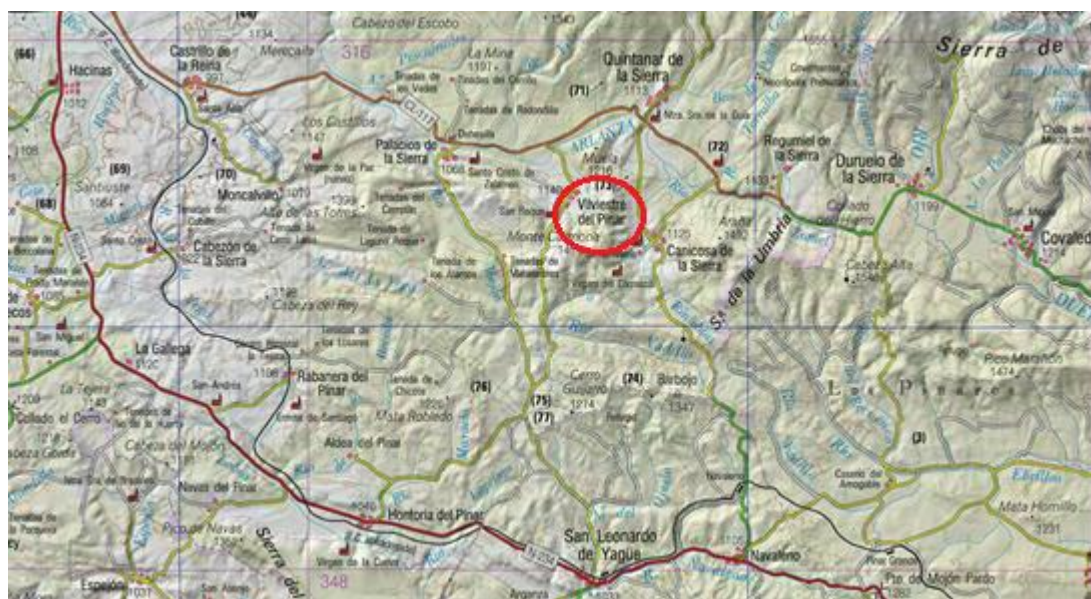
3. Ubicación

La planta se localiza en el Polígono Industrial Las Vegas, situado en la localidad de Vilviestre del Pinar.

Es un municipio y localidad del sureste de la provincia de Burgos, Castilla y León. Está bañado por las aguas del Arlanza, se encuentra a 78 kilómetros de Burgos, y abarca una extensión de 38 km². Es uno de los municipios pinariegos de la comarca Sierra de la Demanda con centro en Salas de los Infantes, y se encuentra a 1.139 metros sobre el nivel del mar.

El municipio de Vilviestre del Pinar forma parte de la *Mancomunidad Alta Sierra de Pinares* junto con los municipios vecinos de Palacios de la Sierra, Canicosa de la Sierra, Regumiel de la Sierra, Neila y Quintanar de la Sierra, sede de la Mancomunidad.

Figura 1.2. Localización de la planta



Vilviestre del Pinar se encuentra en el centro neurálgico de la Comunidad de Pinares, formada por municipios serranos de Burgos y Soria, comprendiéndose en un radio de 20 km alrededor de esta localidad la zona más significativa de la misma.

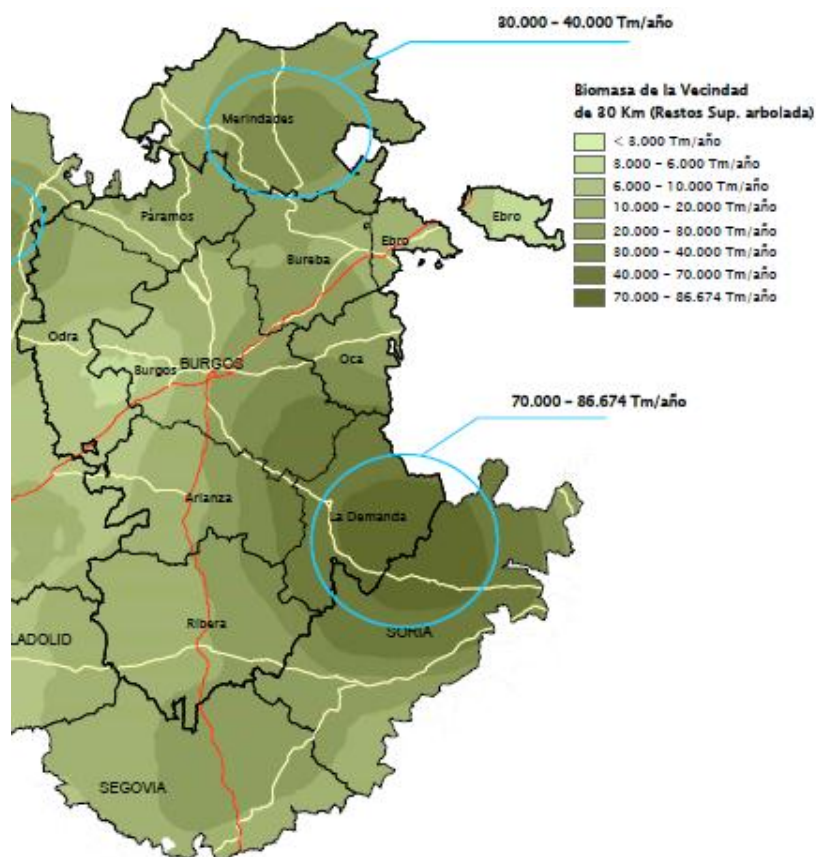


Además, la superficie forestal de este municipio alcanza un total de 3.120,93 hectáreas, lo que supone el 81,83% de la extensión superficial. Precisamente, la cercanía de la materia prima es el principal factor por el que se ha determinado esta localización.

La mayor parte del término se dedica a monte alto de pino silvestre o pino albar y pino negral, para producción de madera y muy secundariamente a pastos. Los montes de Utilidad Pública son el nº 289 *Matarrucha* de 874,228 hectáreas, al norte, y el nº 290 *El Monte* con 1.815,55 hectáreas, situado al sur del núcleo urbano. Además, en copropiedad con Quintanar el nº 252 *La Manga*; Palacios y San Leonardo el nº 246 *Guerreado y Abejón*, con 87,50 hectáreas y 288,00 hectáreas en copropiedad con Palacios.

En la figura 1.3, se puede observar la importancia de la biomasa en la localización elegida.

Figura 1.3. Biomasa de la vecindad (30 km)

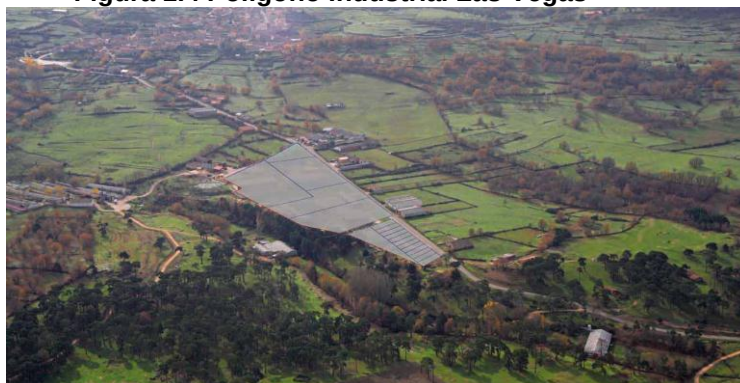


Fuente: AGENBUR



El Polígono Industrial Las Vegas se encuentra situado junto a la carretera CL-117, que une Salas de los Infantes con Abejar. Dentro del mismo, la planta se ubica en la parcela 14, que cuenta con una superficie de 5.975 m². Se ha seleccionado una parcela con mayor superficie de la que requieren los edificios para facilitar el trasiego y maniobra de los vehículos que transportan la biomasa, y también de cara a prever futuras ampliaciones.

Figura 1.4 Polígono Industrial Las Vegas



Fuente: Sociedad para el Desarrollo de la Provincia de Burgos (SODERBUR)



4. Funcionamiento de la planta

Al llegar a la planta, la biomasa, si no ha sido astillada en el lugar de recogida con unas dimensiones que la hagan apropiada para la entrada en el gasificador, se hace pasar por la astilladora, de modo que la biomasa alcance el tamaño adecuado para su posterior introducción en el gasificador, con astillas de entre 10 y 75 mm. Posteriormente es almacenada en pilas en una nave cubierta pero sin cerramientos laterales, de modo que hagan más sencillos los procesos de descarga de la biomasa y alimentación del edificio de generación. Dichos montones de biomasa deberán tener unas dimensiones concretas para evitar fenómenos como la combustión espontánea.

Desde la nave de almacenaje, la biomasa entra en la nave de generación por medio de una cinta transportadora hasta llegar a la tolva de recepción del secador, que regula y dosifica la biomasa para introducirla en el secador tipo trommel donde se llevará acabo el secado forzado. A la salida del mismo, la biomasa tendrá las condiciones de humedad que la hagan adecuada a los cálculos que se han realizado para el gasificador, esto es, una humedad en base húmeda del 15%. La potencia térmica necesaria para este secado forzado es obtenida de parte de los gases de escape del motor; en concreto se requerirán 337,42 kW térmicos para eliminar 538,04 kg/h de agua.

A continuación la biomasa es transportada por una cinta transportadora desde la salida del secador hasta la tolva de alimentación del gasificador. Dado que la alimentación del gasificador se realiza en altura, es decir, por la parte superior, se realizará mediante canjilones. El gasificador, de tipo downdraft, requiere además de aire (agente gasificante), que se introduce por la zona media del mismo, y que se mueve en la misma dirección que la biomasa. Tras someterse esta a la oxidación incompleta que se produce en el interior del gasificador, se obtiene un gas de síntesis o syngas compuesto por N_2 , CO , CO_2 , H_2O , H_2 y CH_4 , partículas carbonosas y alquitranes.



Para mejorar su comportamiento como combustible en el motor, será necesario limpiar y enfriar el gas obtenido. Esto se lleva a cabo, en primer lugar, pasando el gas primero por un ciclón que elimine las partículas de mayor tamaño, después por un depurador que lo enfría y elimina partículas no eliminadas anteriormente, y por último un ventilador húmedo que consigue eliminar partículas más pequeñas. Para eliminar la humedad obtenida por el combustible en este proceso de limpieza, será necesario pasar el gas por un intercambiador de calor antes de que llegue al motor, pasándose por un último filtro que elimine las impurezas de menor tamaño y que puedan dañar el motor.

El gas limpio llegará finalmente al motor de combustión interna, que generará una potencia eléctrica de 1.431,32 kW, y consiguiendo recuperar, mediante la energía contenida en los gases de escape, una potencia térmica de 1.617,84 kW, de los que 337,42 kW serán los empleados en el secador tipo trommel para el secado de la biomasa.



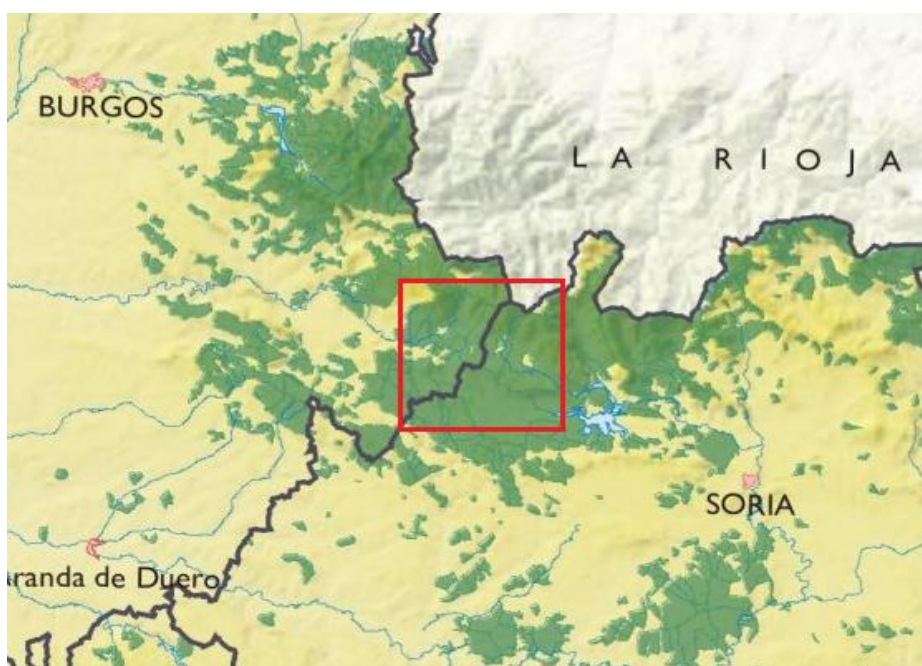
5. Biomasa empleada

5.1 Disponibilidad de biomasa forestal

Dada la cantidad de biomasa disponible en esta comarca, que comprende varios municipios entre las provincias de Burgos y Soria., en nuestra planta se podrá emplear tanto biomasa procedente de los tratamientos, aprovechamientos forestales como de los residuos de la abundante industria maderera presente en la zona.

Como se aprecia en la figura 1.5, la gran mayoría de la extensión forestal en la Comarca de Pinares está conformada por montes de utilidad pública.

Figura 1.5. Montes de utilidad pública de Castilla y León



Fuente: Junta de Castilla y León, Consejería de Medio Ambiente



5.1.1 Recursos aprovechables de origen forestal

Se hablará, de Biomasa Potencial Aprovechable, en referencia a las cifras máximas de producción de los distintos tipos de biomasa que puedan estar disponibles para su aprovechamiento, descontando del “potencial total”, la biomasa que se pierde como consecuencia de la mayor o menor eficacia en la recogida de estos. También se tendrán en cuenta las diversas protecciones medioambientales que puedan existir sobre los espacios naturales de la zona.

En un informe realizado por la Agencia Provincial de la Energía de Burgos (AGENBUR), se puede observar la biomasa potencial aprovechable de la comarca que nos ocupa, aunque únicamente en su parte burgalesa, información recogida en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Biomasa parte burgalesa comarca de Pinares

Tipo de bosque	Tm/año (H=0%)	Ha	Tm/ha año (H=0%)	tep /año
Pinus halepensis	-	-	-	-
Pinus nigra	1.516	1.779	0,85	700,83
Pinus pinaster	2.533	7.232	0,35	1.225,82
Pinus pinea	-	-	-	-
Pinus radiata	-	-	-	-
Pinus sylvestris	23.704	32.611	0,73	11.783,59
Encinar	586	1.522	0,38	265,33
Rebollar	10.353	23.691	0,44	4.964,12
Quejigar	149	578	0,26	64,28
Hayedo	941	2.605	0,36	435,59
Sabinar	371	3.215	0,12	208,42
Choperas de producción	507	488	1,04	187,47
Total general	40.660	73.720	0,55	19.835,45

Fuente: AGENBUR

Considerando que la parte soriana de dicha comarca tiene una extensión similar o incluso mayor que la burgalesa, como se puede observar en la figura 1.5, la biomasa necesaria para nuestra planta estará garantizada con la biomasa presente en la zona en la que se ubicará la planta.



5.1.2 Cuantificación de la biomasa disponible procedente de los residuos de las industrias de primera transformación

Los subproductos generados pueden tener, a parte de la producción energética, otros usos, ya que tienen aplicaciones en la industria del tablero, en la industria papelera, en explotaciones ganaderas locales o en la construcción.

La mayoría de los subproductos de la provincia de Burgos, concretamente un 74,4% (Anexo III, 6.2) se encuentran en un área aprox. en un radio de 25-30 km de la planta. Un estudio de AGENBUR recoge la cantidad de subproductos generados por estas industrias por municipio. La siguiente tabla 1.2 indica esta cantidad en los municipios burgaleses cercanos a la planta.

Tabla 1.2. Subproductos generados en el entorno

Localidad	Tm/año
Arauzo de Miel	30
Canicosa de la Sierra	5.000
Doña Santos	15.554
Hontoria del Pinar	11.786
Huerta de Rey	12.405
Palacios de la Sierra	12.484
Quintanar de la Sierra	51.040
Regumiel de la Sierra	53.939
Salas de los Infantes	4.497
VILVIESTRE DEL PINAR	10.953
Total	177.688

Fuente: AGENBUR



No se dispone de datos acerca de la parte soriana de la Comarca de Pinares, pero por volumen empresarial, se pueden suponer unos datos incluso mayores a los obtenidos de en la tabla anterior.

El Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER), dependiente del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) estima un precio medio a puerta de fábrica de unos 40 € por tonelada seca, mayor que el estimado para en el caso de los tratamientos silvícolas, por lo que, en principio, nos será más interesante la opción anterior.

5.2 Características de la biomasa

De los datos facilitados por AGENBUR, se observa que la inmensa mayoría de la biomasa presente en la zona es procedente del *pinus sylvestris*.

El pino silvestre es el árbol que ocupa un área más extensa en Europa, incluso llegando a abarcar también zonas en Asia. En las zonas más al sur de Europa aparece de forma discontinua y en altitudes más elevadas, prefiriendo las exposiciones de umbría.

Esta enorme área de distribución provoca una gran diversidad de situaciones ecológicas que ha motivado la descripción de más de 150 tipos y variedades adaptadas a las distintas condiciones locales. Sorprendentemente la diversidad morfológica es casi inexistente, siendo la diferencia individual dentro de una misma variedad mucho mayor que entre las diferentes variedades entre sí. Sólo algunas de ellas, como la mongólica o la nevadensis en Sierra Nevada, parecen presentar diferencias genéticas significativas.



Para España, Nicolás y Gandullo (1969) proponen la existencia de los siguientes cuatro ecotipos, que han sido la primera división adoptada en el trabajo de regiones de las 17 procedencias de esta especie:

- Ecotipo catalán: Pirineos y subpirineos catalanes de Gerona, Barcelona y Lérida.
- Ecotipo pirenaico: Navarra, Huesca y Zaragoza.
- Ecotipo ibérico: Sistema Ibérico y Central, Cordillera costero-catalana y Cornisa Cantábrica.
- Ecotipo nevadensis: Sierra Nevada.

El pino silvestre es un árbol esbelto que puede alcanzar los 35-40 metros de altura, unos diámetros superiores a los 100 cm y 500-600 años de edad. Siempre que crezca en condiciones normales de espesura, su tronco es derecho, cilíndrico y recto. De joven, su porte es cónico-piramidal, pero va deformándose con la edad y se hace más o menos asimétrico en los pies de las masas adultas. La ramificación del tercio inferior del fuste suele ser escasa y la poda natural relativamente buena para una conífera.

La corteza es delgada al principio, de color gris-verdoso. A los 8 o 10 años comienza a engrosar, y se vuelve pardo oscura, corchosa y frágil, con grandes escamas, principalmente en sentido vertical. A cierta altura del tronco, según la espesura y variedad de pino silvestre, la corteza cambia de aspecto, estando formada por láminas o escamas lisas muy delgadas, brillantes, de aspecto papiráceo y de un color naranja o rosa asalmonado, que se desprenden y caen fácilmente.

Los pinares de silvestre del Sistema Ibérico se centran en la comarca soriano-burgalesa de Pinares, constituyendo uno de los mejores ejemplos en cuanto a calidad y extensión de los bosques de esta especie en España. Abarcan una superficie de unas 45.000 ha, de las cuales casi el 75% se sitúa en la provincia de Soria y el 25% restante en la de Burgos.



La Tabla 1.3 se detalla la caracterización energética de la biomasa procedente del pino silvestre.

Tabla 1.3. Caracterización energética biomasa pino silvestre

Astilla pino	Normativa	Caracterización
Densidad (kg/m ³)		200
Humedad (base húmeda) (%)		15
Materias volátiles (%)	UNE 32019	76,1
Cenizas (815°C) (%)	UNE 32004	0,8
Carbono fijo (Calculado) (%)		16
Carbono (%)	ASTM 5373	47,6
Hidrógeno (%)	ASTM 5373	6,3
Nitrógeno (%)	ASTM 5373	0,2
Azufre (%)	ASTM 4239	0
Cloro (%)	ASTM 2361	0
Oxígeno (Calculado) (%)		45
PCI (kcal/kg)		4.256

Fuente: EREN



6. Tecnología empleada

6.1 Elección de la tecnología de aprovechamiento de la biomasa

Existen varias tecnologías para valorizar recursos, el aprovechamiento de energía contenida en los residuos se realiza en dos vertientes:

- *Procesos térmicos*: aprovechamiento del poder calorífico de los recursos mediante un tratamiento térmico.
- *Biogasificación*: a partir de la generación de biogás generado como producto en la digestión anaerobia de materia orgánica procedente de residuos sólidos urbanos, biomasa residual húmeda, etc.

Debido a que los procesos térmicos proporcionan mayor aprovechamiento de los recursos, serán estos el objeto de nuestro proyecto. Dentro de ellos, destacan dos tecnologías principales:

- Incineración: proceso de conversión térmica del combustible (biomasa) con un agente oxidante (normalmente oxígeno) para producir dióxido de carbono y agua. Puede ser empleada para la obtención de calor directa o con calor indirecto, es decir, un intercambio térmico para generar electricidad a partir de un ciclo de vapor.



- Gasificación: proceso de conversión térmica del combustible (biomasa) a elevada temperatura y en condiciones reductoras para producir fundamentalmente gases combustibles. Puede obtenerse gas combustible para quemar, emplear el gas para la generación de electricidad con turbinas de gas o conversión bioquímica para producción de etanol.





Varias son las razones que determinan la tecnología de *gasificación* como la más apropiada para este proceso:

- ✓ Buena eficiencia en la producción eléctrica, obteniendo un rendimiento mayor que con la combustión directa (incineración).
- ✓ Versatilidad, debido a que las características físicas y químicas de la biomasa empleada pueden ser muy heterogéneas, siempre y cuando cumplan con los requerimientos señalados por el fabricante.
- ✓ Impacto ambiental aceptable, ya que minimiza el residuo que genera.

Por la parte negativa, la gasificación exige mejor calidad del combustible que la incineración y produce alquitranes, que habrá que eliminar para no perjudicar a la instalación.

El rendimiento del proceso varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante que se utilice, en el rango del 70-80%. El resto de la energía introducida en gasificador se invierte en las reacciones endotérmicas, en las pérdidas de calor de los reactores, en el enfriamiento del syngas, necesario para su secado (eliminación del vapor de agua) y filtración, y en el lavado (cuando sea necesario eliminar los alquitranes).

6.2 Aprovechamiento del gas de síntesis

Una de las ventajas más importantes del proceso de gasificación es la gran variedad de posibilidades a la hora de aprovechar el gas de síntesis.

Existen diversas alternativas que podrían ser ordenadas de menor complejidad y eficiencia a más complejas y eficientes, como motores a gas, turbinas a gas y ciclo combinado (IGCC). El análisis se realiza desde el punto de vista de generación de energía eléctrica, que será la que mayor beneficio económico nos reportará. La generación eléctrica a partir de ciclo combinado es rentable a partir de potencias superiores a los 10 MWe, por lo que no será tomada en cuenta en este análisis.



6.2.1 Generación de energía eléctrica a partir de motores a gas

Se fundamenta en la combustión del gas obtenido de la gasificación (convenientemente acondicionado) en un motor-generador modificado. La obtención de la energía eléctrica se produce gracias a un generador acoplado al motor. En la Tabla 1.4 se resumen las principales ventajas y desventajas de los motores a gas.

Tabla 1.4 Ventajas y desventajas de los motores a gas

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Son robustos	Baja eficiencia térmica
Aceptan un gas sucio (H_2S , alquitranes, etc.) dentro de unos límites máximos permitidos por el fabricante	Altas emisiones
Facilidad para su arranque/parada	
Amplia gama de ejemplares en el mercado	

6.2.2 Generación de energía eléctrica a partir de turbinas

El proceso de obtención de energía eléctrica en turbinas (a gas o a vapor) es similar al motor a gas. Las principales ventajas y desventajas de esta tecnología se encuentran en el anexo correspondiente (Anexo IV) y se resumen en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5. Ventajas y desventajas de las turbinas a gas.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Alta eficiencia	Difícil arranque
Bajas emisiones	Alta sensibilidad a la calidad del gas de síntesis
	Previa adaptación para operar con el gas de síntesis



6.2.3 Comparación de las alternativas descritas

Para comparar estas dos opciones se ha tomado como referencia los valores de eficiencia eléctrica (motores y turbinas) y el coste específico (€/kWe) de cada una de las alternativas.

Por lo general, las turbinas tanto de vapor como de gas tendrán mayor rendimiento que los motores alternativos, debido a su mayor eficiencia térmica. Sin embargo, la eficiencia para la generación de energía eléctrica será mayor en los motores, que poseen una relación calor/electricidad próxima a la unidad y mayor flexibilidad de operación.

El coste específico para la generación de energía eléctrica con los motores oscila entre los 180 €/kWe y los 390 €/kWe, mientras que el coste específico para la generación de energía eléctrica con las turbinas oscila entre los 300 €/kWe y los 360 €/kWe.

Los costes de mantenimiento del motor y la turbina son similares en torno a 0,01 €/kWe. Se destaca con respecto a las turbinas de gas la exigencia con relación a las condiciones del gas de síntesis en cuanto a la concentración de alquitranes, es mucho más elevada que las condiciones de los motores a gas, por lo que el mantenimiento resulta más caro si las condiciones de entrada del gas de síntesis no son las más adecuadas.

Los motores alternativos tienen un coste específico menor y una eficiencia global similar a las turbinas, mayor en el caso del rendimiento eléctrico, que es un factor clave desde el punto de vista económico, por lo que se prefiere optar por un motor antes que una turbina a gas.



6.3 Elección del tipo de gasificador

La selección del tipo de gasificador que se va a emplear depende de la potencia que se desee y del tipo de tecnología con la que se va a emplear para el aprovechamiento de la gasificación.

Los de lecho fluidizado se utilizan para instalaciones de gran escala, mientras que para potencias menores se prefieren los de lecho fijo, como es el caso de este proyecto.

En la Tabla 1.6 se resumen las principales características de los gasificadores empleados (propulsados por aire), como la temperatura del gas de síntesis durante las reacciones químicas, la temperatura del gas de síntesis a la salida del gasificador, así como la cantidad a modo cuantitativo de los alquitranes y partículas que resultan.

Tabla 1.6 Características de los diferentes tipos de gasificadores

	Temperatura (°C)		Alquitrán	Partículas	Capacidad	MWe	
	Reacción	Gas salida			Máx. (t/h)	Mín.	Máx.
Lecho Fijo							
Downdraft	1000	800	m. bajo	moderado	1,5	0,1	2
Updraft	1000	250	m. alto	moderado	10	1	10
Lecho Fluidizado							
Reactor único	850	800	normal	alto	10	1	20
Lecho Rápido	850	850	bajo	m. alto	20	2	50
Lecho circulante	850	850	bajo	m. alto	20	2	100
Lecho arrastrado	1000	1000	bajo	m. alto	20	5	100
Reactores gemelos	800	700	alto	alto	10	2	50
Otros							
Horno rotatorio	800	800	alto	alto	10	2	30
Reactor ciclón	900	900	bajo	m. alto	5	1	10

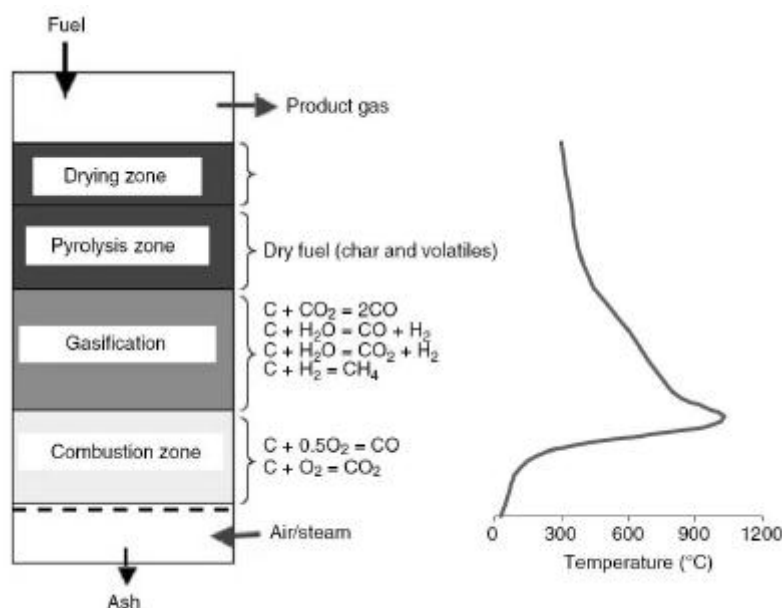


6.3.1 Gasificador Updraft

En estos gasificadores, el sólido desciende lentamente en contracorriente con la corriente de gas generada por la introducción de los agentes gasificantes (aire u oxígeno y vapor) por el fondo del gasificador. Según desciende el sólido, es calentado por la corriente ascendente de gas hasta llegar a la zona de combustión donde se alcanza la máxima temperatura, sufriendo un enfriamiento posterior previo a la descarga de escorias.

La Figura 1.6 muestra las zonas de proceso de un gasificador de lecho fijo descendente Updraft).

Figura 1.6 Gasificador de lecho fijo Updraft



Fuente: McKendry, P. *Energy production from biomass (part 3): gasification technologies*, 2001.

La temperatura en la zona de combustión está condicionada por la temperatura de fusión de las cenizas. La regulación de temperatura en el lecho se realiza mediante inyección de vapor. El



consumo de vapor es mucho más elevado en el caso de trabajar con cenizas secas. Debido a que la desgasificación y devolatilización del sólido se realiza en una zona de baja temperatura de gases (entre 250 y 500°C) no se produce la descomposición de los aceites, alquitranes y gases formados (fenoles, amoníaco, H_2S) obteniéndose un gas bastante contaminado.

6.3.2 Gasificador Downdraft

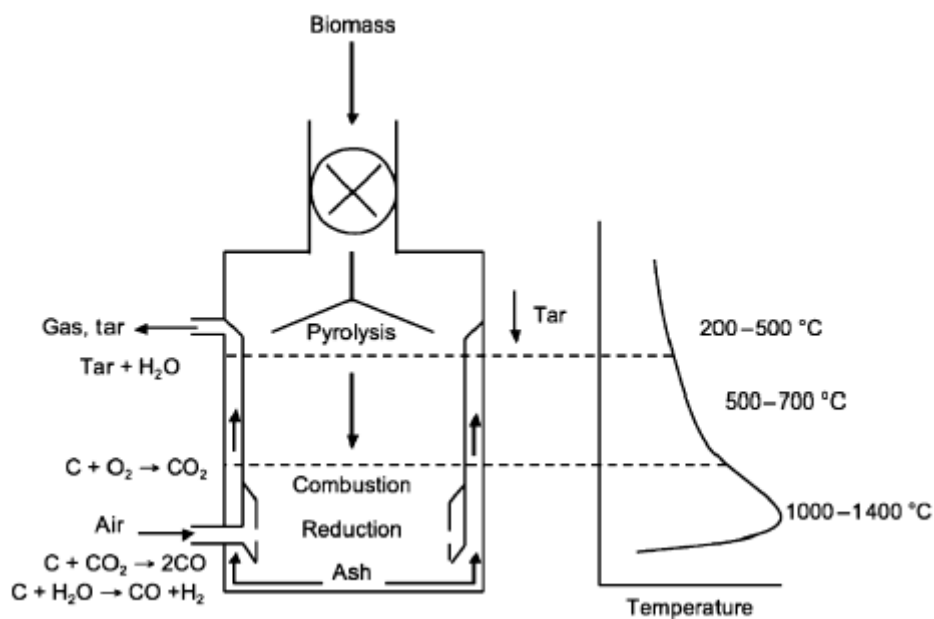
El sólido entra por la parte superior del reactor, experimentando sucesivamente los procesos de secado y pirólisis al ser sometido a un aumento progresivo de la temperatura.

Este perfil de temperaturas se debe al hecho que la conducción y radiación de calor a temperaturas suficientemente elevadas, tiene lugar desde la parte inferior, donde se está generando calor mediante combustión parcial de los productos que llegan hasta allí. Los gases, alquitranes y carbón continúan su camino descendente y llegan a la zona de oxidación a alta temperatura, en la que se queman o craquean una parte con el oxígeno introducido, proporcionando la energía necesaria para mantener térmicamente el proceso y empobreciendo la calidad del gas. Los productos reaccionan entre sí, a través de las reacciones de reducción, para aumentar la cantidad y calidad como combustible de la fase gaseosa.

La Figura 1.7, mostrada a continuación, muestra las distintas zonas de proceso de un gasificador de lecho fijo descendente (Downdraft).



Figura 1.7 Gasificador de lecho fijo Downdraft



Fuente: McKendry, P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies, 2001.

El gasificador de la planta será downdraft, dado que, conforme a lo descrito cumple con los rangos de nuestra instalación, y resulta más apropiado que el updraft por la menor generación de alquitranes.



7. Descripción de los equipos

Una vez seleccionada la tecnología a aplicar, se habrán de buscar los equipos adecuados para la misma, y que a su vez se adapten al volumen y tamaño de la planta.

7.1 Astilladora

Como se ha descrito en el funcionamiento de la planta, se empleará con anterioridad al almacenamiento de la biomasa en la nave correspondiente, de tal modo que a la salida del equipo, la biomasa contará con unas dimensiones acordes con los requerimientos del gasificador. Esto es, un tamaño mínimo de 10 mm de diámetro y 10 mm de longitud, y un tamaño máximo de 75 mm de diámetro y longitud.

Figura 1.8. Astilladora Eschlböck Biber-3



Fuente: Eschlböck



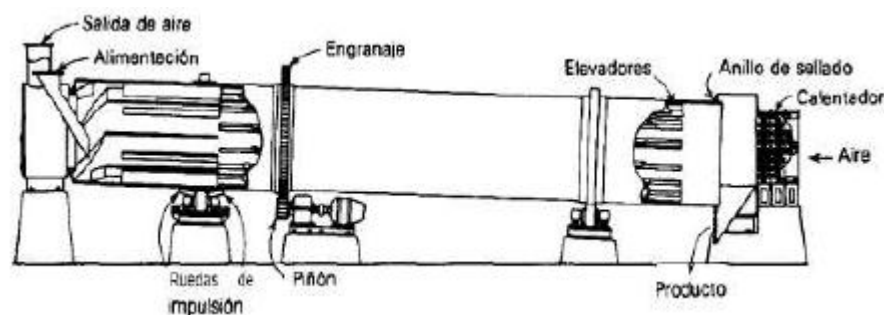
Se ha seleccionado una astilladora, en concreto el modelo Eschlböck Biber-3, frente a otras opciones como pueden ser las trituradoras por la calidad de astilla obtenido y el menor requerimiento de potencia. Además, al ser una astilladora móvil, hará más fácil el almacenamiento de energía debido a su capacidad para moverse al lugar que interese en cada momento.

7.2 Secador tipo trommel

Consiste básicamente en un tambor cilíndrico, horizontal y de movimiento rotativo en el que se introduce la biomasa a secar. Junto con la astilladora son los elementos principales de la instalación de pretratamiento de la biomasa.

El trommel utilizado es de secado directo ya que los gases de escape van a estar en contacto directo con la biomasa durante el proceso de secado. Se ha elegido este tipo de secadero debido a su alta eficiencia y capacidad de producción. En la figura 1.9 se puede ver una descripción de las partes de este equipo de secado.

Figura 1.9. Esquema secador tipo trommel





Concretamente, el secado se realiza en un trommel AYPE de la empresa APISA, que cuenta con un sistema ECOFIBER, capaz de procesar todo tipo de maderas con presentación en astillas, chips o serrín. Además, está equipado en su interior por un sistema multivoltaje que alarga la permanencia del producto en el interior del trommel.

Dimensiones del trommel:

Diámetro exterior 1.034 mm.

Diámetro útil 1.000 mm.

Longitud del cilindro 11.600 mm.

Figura 1.10. Secador trommel AYPE



Fuente: APISA S.L.



El conjunto del secadero trommel estará formado por una serie de elementos que se describen a continuación:

- Bancada soporte.
- Tambor rotativo de 1.000 mm. de diámetro interior útil.
- Sistema interior de palas.
- Sistema de volteadores interiores.
- Cono de salida del producto
- Sistema de estanqueidad entre tromel y tubería de decantación.
- Sistema de aislamiento térmico y acústico de la parte cilíndrica del trommel.

A la salida del trommel se dispone de un cajón de decantación del producto que no sea válido para la entrada al gasificador.



7.3 Sistema gasificador

Las astillas serán recogidas a la salida del trommel por una cinta transportadora y llevadas a la tolva de alimentación del grupo gasificador, que regulará la entrada de combustible al elevador de cangilones. Este elevador será de 8 metros de altura y estará accionado por un motorreductor y sincronizado con la tolva de entrada para procurar una correcta alimentación del gasificador. Para el acceso ante cualquier problema que pudiera surgir, el gasificador dispondrá de una escalera de acceso.

7.3.1 Gasificador

El gasificador empleado es el modelo downdraft Ankur WBG-1250, donde el combustible y el gas se mueven en la misma dirección. El aire que actúa como agente gasificante es introducido en la zona de oxidación, saliendo el gas de síntesis por el fondo.

Una partícula que entra al gasificador por la parte superior sufre sucesivamente los procesos de secado y pirólisis al someterse a un progresivo aumento de temperatura en su camino descendente. Gases, tar y char, descienden hasta la zona de oxidación donde, con el oxígeno introducido, se proporciona la energía necesaria para mantener térmicamente el proceso. Aumenta el calor sensible y temperatura de los productos que continúan su camino descendente.

Los productos entran por último en la zona de reducción donde cesa el aporte de oxígeno y continúan reaccionando entre sí dando como resultado una disminución de la temperatura, y un incremento de la cantidad y calidad del gas producido.

**Figura 1.11. Ankur WBG-1250**

Fuente: www.energrup.com

7.3.2 Sistema de acondicionamiento del gas de síntesis

El gas debe refrigerarse y filtrarse antes de ser utilizado por el motor, ya que en caso contrario su densidad es baja y producirá muy poca potencia mecánica. Además será necesario eliminar cenizas y alquitranes, que pueden causar daño en el motor. Por lo tanto, este sistema de acondicionamiento está a su vez dividido en dos partes:

- Eliminación del residuo carbonoso: El gasificador está dotado de un sistema de rasqueta móvil y una doble válvula de guillotina para eliminar el residuos carbonoso pesado (>150 micros) del fondo del reactor.



- Filtración y enfriamiento del syngas: El syngas sale del reactor a 500°C, llevando con él las partículas más ligeras del residuo carbonoso (< 150 micron) y las cenizas contenidas en la biomasa. El syngas debe ser enfriado y lavado.

Los diferentes aparatos de filtrado del syngas podrán ser modificado y adaptados en base a la topología de biomasa. Por ejemplo, biomasa oleosa o con amoniaco, requieren de un tratamiento del syngas diferente.

Las ventajas de este sistema son:

- ✓ No existe contacto directo del gas con el agua.
- ✓ No se producen olores al no generarse agua estancada.
- ✓ Gran ahorro de agua.
- ✓ No se producen lodos húmedos.

El esquema de filtración estándar para biomasa de origen forestal, que se puede observar en la figura 1.11, contempla.

- multiciclón en seco
- intercambiadores de calor
- scrubber de agua en circuito cerrado, el caudal del syngas hacia el motor. Una válvula motorizada controlada por un transductor en el cuadro eléctrico regula el caudal en base a la carga eléctrica requerida en la instalación (conexión en red o funcionamiento en isla)
- compresor con nebulizador de agua
- ciclón de separador de agua, detiene las partículas grandes que son arrastradas por el gas generado en el gasificador.
- condensador
- filtros de biomasa
- filtro de mangas

**Figura 1.11. Esquema sistema acondicionamiento**

Fuente: www.energrup.com

7.3.3 Regulación del flujo del syngas

Es uno de los aspectos relevantes del gasificador. En la instalación el syngas viene controlado por tres válvulas en serie, que regulan:

1. El caudal del syngas hacia el motor. Una válvula motorizada controlada por un transductor en el cuadro eléctrico regula el caudal en base a la carga eléctrica requerida en la instalación (conexión en red o funcionamiento en isla).
2. La relación estequiométrica. Una válvula regula en continuo la mezcla aire/syngas.
3. La aspiración de la mezcla aire/syngas. La válvula principal del motor controlada por el regulador de giro mantiene la velocidad de giro en 1.500 rpm (50Hz) a la carga nominal de la instalación (kW eléctrico).





7.4 Grupo motogenerador

Tras el acondicionamiento del syngas, este podrá ser ya utilizado como combustible en un motor alternativo. Será necesario para ello la utilización de un motor de gas correctamente modificado para adaptarse a las condiciones del gas obtenido del grupo gasificador.

El motor alternativo es un motor térmico cíclico de combustión interna, de movimiento alternativo, como su propio nombre indica, que convierte la energía química contenida en un combustible en energía mecánica de rotación de un eje. Es una máquina cíclica, pero el fluido se renueva en cada ciclo; se trata por tanto de un ciclo abierto. La reacción explosiva de la mezcla aire-combustible en el interior de un cilindro provoca el movimiento lineal del pistón, que la biela convierte en rotación del cigüeñal. De esta manera también se asegura el movimiento alternativo del pistón, que permite renovar los gases producto de la combustión por mezcla fresca, lista para explosionar.

Se ha seleccionado del modelo *Jenbacher JMS 612 GS-BL* perteneciente al grupo *General Electric*, que se trata de un sistema de generación de energía totalmente integrado. El alternador empleado es el modelo *LSAC 52.2 L70* del fabricante *Leroy-Somer*. Todas las especificaciones técnicas se encuentran en su anexo correspondiente (Anexo V).

Figura 1.13. Jenbacher JMS 612 GS-BL



Fuente: Jenbacher



Para minimizar los efectos del alto nivel de ruido producido por el motor, éste cuenta con su propio contenedor insonorizado que minimiza el impacto acústico. Además, se podrá controlar desde un panel de control, que permite visualizar el estado, programar su autoapagado, medir la producción y rendimiento del módulo, detectar fallos en el funcionamiento y emitir mensajes de alarma, etc.

7.5 Transformador

El centro de transformación se compondrá de una caseta de prefabricado con las cabinas de protección e interruptor general de baja tensión y un transformador de intemperie.

Llevará a cabo la evacuación de la potencia eléctrica generada por el grupo motogenerador a la red. El modelo seleccionado tiene una potencia de 2.100 kVA y una tensión de 690 V. Para evacuar la energía eléctrica elevaremos la tensión hasta el punto que nos indique la compañía eléctrica (se supone media tensión, 22,5 kV) con un transformador de potencia de 2500 kVA fabricado por la empresa Schneider.

Figura 1.14. Transformador Vegeta HE



Fuente: Schneider Electric



El punto de acceso y conexión a la red será el determinado por la empresa distribuidora, en este caso Iberdrola.

8. Planificación

8.1 Necesidades de personal

Las funciones a cubrir en la planta son las siguientes:

1. Jefe de planta, que asuma las funciones de dirección técnica de la planta, responsabilizándose del correcto funcionamiento y operación de la planta, supervisando todos los procesos de la planta y reportando a la dirección general datos sobre la operación de la planta.
2. Jefe de mantenimiento, encargado del correcto funcionamiento de equipos y máquinas. Se ocupará coordinar al personal a su cargo, de realizar el diagnóstico y control de los elementos estructurales de la planta y de elaborar programas de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos.
3. Operarios de la planta, responsables de todas las operaciones rutinarias de funcionamiento de la planta. También llevarán la supervisión y control de los equipos cuando no se encuentre el jefe mantenimiento integral.

Tanto el jefe de planta como el jefe de mantenimiento gozarán de una jornada laboral diurna. Por el contrario, debido a que la planta operará durante 7.500 horas de funcionamiento al año, el trabajo de los operarios. se deberá organizar en turnos.



Serán necesarias, según se ha estimado, seis personas que se encarguen de operar y mantener la planta: un jefe de planta, un jefe de mantenimiento y cuatro operarios.

8.2 Diagrama de Gantt

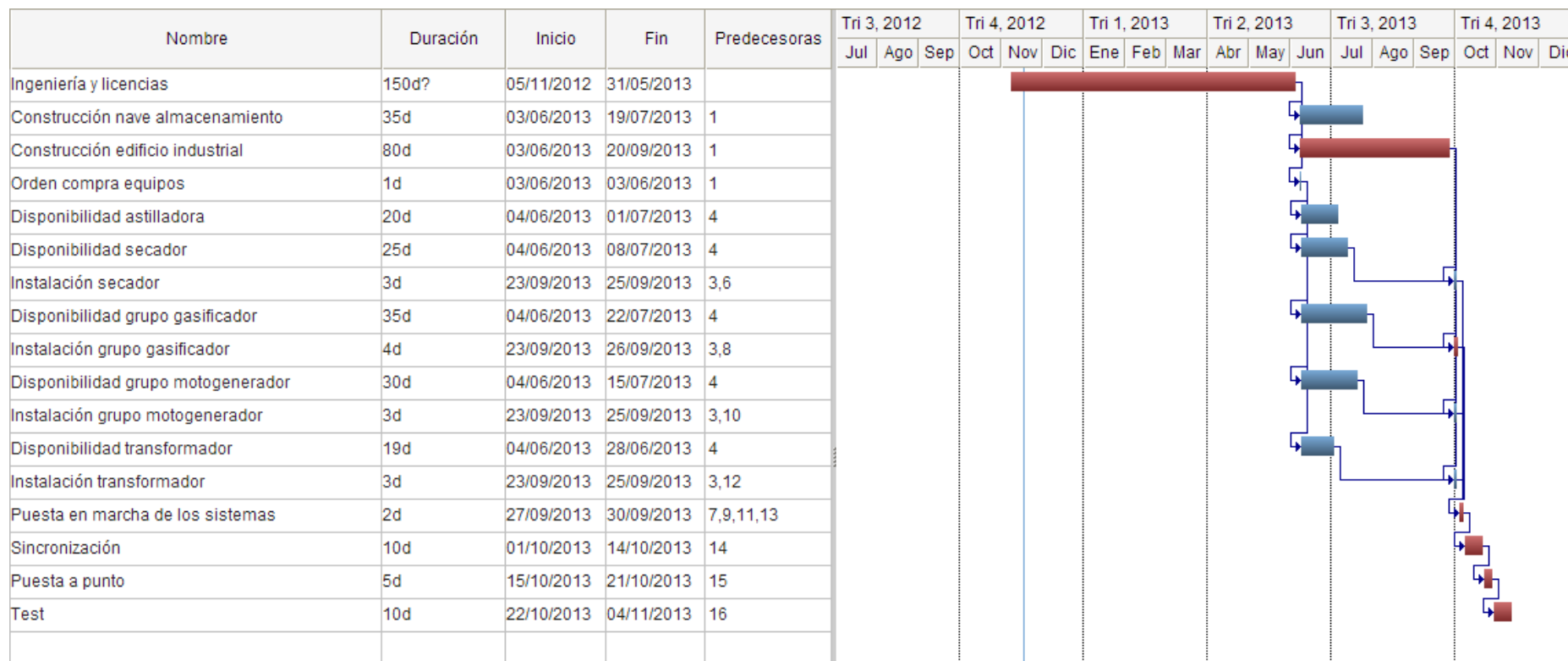
La Figura 1.15, contenida en la página siguiente, muestra la planificación hasta la puesta en marcha de la planta. Considerando el comienzo el día 5 de noviembre de 2012 se tardará exactamente un año en ponerla a punto.

Las tareas críticas son:

- ✓ Ingeniería y obtención de licencias
- ✓ Construcción del edificio industrial
- ✓ Instalación del grupo gasificador
- ✓ Puesta en marcha de los sistemas
- ✓ Sincronización
- ✓ Puesta a punto
- ✓ Test



Figura 1.15. Diagrama de Gantt





9. Estudio económico

Consiste en una evaluación del proyecto donde se calcula la rentabilidad del mismo, es decir, su viabilidad. Para ello se utilizan diversos indicadores como el VAN (Valor Actual Neto), TIR (Tasa Interna de Retorno) y el PAY BACK.

Para obtener estos indicadores, así como su evaluación se deben conocer varios aspectos de la inversión, detallados en el anexo de cálculos (Anexo I 7):

Coste del proyecto: 2.531.966,44 €

Costes de operación y mantenimiento: 201.463,31 €

Coste del combustible: 411.708 €

Retribución por venta de energía: según dos normativas

RD 661/2007: 1.867.782,98 €

RD 1/2012: 822.593,01 €

Al hacer el cálculo económico por medio de dos normativas distintas debido a la incertidumbre actual en el sector energético, se realizarán dos análisis económicos distintos.



INDICADORES DE LA RENTABILIDAD

VAN (Valor Actual Neto)

Es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial, de tal forma que si es mayor, será recomendable que el proyecto sea aceptado.

- Para el *RD 1/2012*, el VAN es -309.414,86 €, por lo el proyecto no es viable económicamente.
- Para el *RD 667/2007*, el VAN es 9.379.795,52 €, por lo el proyecto será viable económicamente.

TIR (Tasa Interna de Retorno)

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión. Si la TIR supera la tasa de corte, se acepta la inversión.

El cálculo del TIR para los dos tipos de normativa es:

- *RD 1/2012* → *TIR* = 3%
- *RD 661/2007* → *TIR* = 38%



PAY BACK (Periodo Medio de Maduración)

Es el plazo de recuperación de la inversión, es decir, el periodo de tiempo que necesita una inversión para que el valor actualizado de los flujos netos de caja iguale al capital invertido. Permite seleccionar aquellos proyectos cuyos beneficios permitan recuperar más rápidamente la inversión.

- RD 1/2012 → *PAY BACK 12-13 años*
- RD 661/2007 → *PAY BACK 2-3 años*



10. Conclusiones

El objetivo principal de este proyecto era definir la ingeniería básica para una planta de cogeneración que utiliza biomasa forestal. Para ello, se ha determinado dimensionado la misma y se ha seleccionado la tecnología más apropiada para la planta.

Realmente la cogeneración es un campo muy interesante, ya que es una forma de producción de energía en la se obtiene una alto rendimiento y que además es sostenible con el medio ambiente. Existen amplias perspectivas de crecimiento de la cogeneración especialmente en la Unión Europea, aunque el momento económico actual puede hacer que bajen esas perspectivas, especialmente en España con la nueva normativa energética.

Inicialmente, se hizo un primer estudio del estado del arte, donde me familiaricé con la cogeneración, la normativa existente, las disponibilidades de biomasa en la zona y las distintas tecnologías que era posible aplicar. Una vez realizada esta primera aproximación, se concluyó que la tecnología óptima para una planta de producción de energía eléctrica inferior a 2 MW es la gasificación de la biomasa y su aprovechamiento en un motor de gas. Posteriormente, comenzó la búsqueda de información sobre dichos equipos, siempre complicada por las objeciones de los fabricantes a ofrecer información a estudiantes. Se seleccionó la gama de motores del fabricante Jenbacher, así como el gasificador Ankur porque fueron los fabricantes que mayor información accedieron a remitir.

La fase posterior, la de realización de los estudios termodinámicos y de viabilidad ha sido la más significativa del proyecto, y de donde se obtienen otras interesantes conclusiones.

Se puede concluir que la producción energética podría convertirse en una fuente de riqueza en la zona donde se ubica la planta, de tal forma que se aprovechen significativamente los recursos naturales de la misma, a la vez que se logra el mantenimiento de los montes de la zona.



Sin embargo, los resultados tras análisis económico, llevan a determinar, que, con las condiciones legislativas actuales en el campo de la producción de energía en régimen especial tras la supresión de los incentivos y primas anteriormente existentes, hacen que el proyecto no sea económicamente inviable. La generación eléctrica es lo que marca claramente la rentabilidad de una instalación. Con la época de incertidumbre económica en el país en general y particularmente en el sector de las energías renovables, sin la existencia de las primas del régimen especial o de algún tipo de subvenciones o ayudas por parte de las instituciones para la planta, no es posible su implantación inmediata.

Como recomendación para trabajos futuros a partir de este proyecto, dado que se trata de una ingeniería básica, todavía se podría ahondar más en el mismo con la realización de la ingeniería de detalle de la planta, donde pueden entrar elementos que no forman parte de este proyecto, como pueden ser, la obra civil de los edificios, la instalación eléctrica, instalaciones de tuberías, etc.

ANEXO I: CÁLCULOS



Índice

Índice de tablas.....	I-52
Índice de figuras.....	I-53
1. Requerimientos de combustible.....	I-54
1.1 Consumo de biomasa en el gasificador	I-54
1.2 Poder calorífico de la biomasa.....	I-55
1.3 Consumo de biomasa en planta	I-57
2. Generación de energía térmica	I-58
2.1 Potencia térmica secado.....	I-58
2.2 Energía térmica recuperable.....	I-59
2.3 Energía térmica disponible para la venta.....	I-60
3. Energía eléctrica generada.....	I-60
4. Seguridad contra incendios	I-61
4.1 Capacidad de la nave de almacenamiento	I-61
4.2 Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco	I-62
4.2.1 Riesgo intrínseco del edificio de generación eléctrica.....	I-62
4.2.2 Riesgo intrínseco de la nave de almacenamiento	I-64
5. Cálculo del rendimiento	I-65
5.1 Rendimiento de la instalación	I-65
5.2 Rendimiento Eléctrico Equivalente	I-65



6. Régimen económico	I-67
6.1 Según el Real Decreto 661/2007	I-67
6.2 Según el Real Decreto 1/2012	I-71
6.3 Retribución por venta de energía térmica	I-74
7. Análisis económico	I-76



Índice de tablas

Tabla I.1. Características técnicas gasificador ANKUR WBG-1250.....	54
Tabla I.2. Valor PCI en función del grado de humedad	56
Tabla I.3. Tabla de vapor saturado agua	58
Tabla I.4. Características Jenbacher JMS 612 GS-B.L.....	59
Tabla I.5 Valores de referencia de la eficiencia armonizados para la producción por separado de calor.....	66
Tabla I.6. REE mínimo para acogerse al régimen especial	68
Tabla I.7. Precio tarifa base	69
Tabla I.8 Precio medio aritmético mercado diario español 2011	73
Tabla I.9. Flujo de caja año 1 según RD 661/2007	79
Tabla I.10. Flujo de caja año 1 según RD 1/2012	80
Tabla I.11. Indicadores de la rentabilidad para RD 667/2007	82
Tabla I.12 Indicadores de la rentabilidad para RD 1/2012	82



Índice de figuras

Figura I.1. Precios del mercado diario español en 2011	I-72
Figura I.2. Precio de venta del MWh térmico	I-74



1. Requerimientos de combustible

1.1 Consumo de biomasa en el gasificador

En base a la biomasa disponible, hemos tratado de seleccionar un gasificador que se adapte a las posibilidades reales de biomasa de la zona, así como a las necesidades energéticas propias de la Comarca de Pinares.

Las características del gasificador *ANKUR WBG-1250* vienen detalladas en la Tabla I.1.

Tabla I.1. Características técnicas gasificador ANKUR WBG-1250

Especificaciones combustible	
Tamaño (mm)	Mínimo
	Diámetro: 10 mm; Longitud: 10 mm
	Máximo
	Diámetro: 75 mm, Longitud: 75 mm
Contenido humedad (%)	< 15 %
Salida gasificador	
Caudal nominal (Nm ³ /h)	2.812,50
Poder Calorífico Medio (kcal/Nm ³)	>1.100
Salida Térmica Nominal (kcal/h)	3.093.750
Consumo de biomasa (kg/h)	1.125
Temperatura gasificación (°C)	1.000-1.100
Temperatura gas salida (°C)	400-500

Fuente: ANKUR Scientific



El máximo consumo de biomasa del gasificador es de 1.125 kg/h, y considerando que la planta trabaja 7.500 h/año, el consumo de biomasa con una humedad inferior al 15% necesario para alimentar al gasificador durante un año será de **8.437,5 toneladas de biomasa**, en las condiciones anteriormente indicadas.

La potencia del gas de salida del gasificador, que será utilizado por el grupo motogenerador, es de 3.093.750 kcal/h, es decir, 3.597 kW

1.2 Poder calorífico de la biomasa

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético, la humedad es muy importante, ya que es el parámetro que más influye sobre el poder calorífico de los biocombustibles.

Hay dos tipos conceptos en el término de humedad que conviene aclarar;

Humedad en base seca, es la cantidad de agua referida al sólido seco.

$$H_s = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ sólido seco}}$$

Humedad en base húmeda, es la cantidad de agua que contiene el sólido referido al sólido húmedo (sólido seco + agua).

$$H_m = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ agua} + kg \text{ sólido seco}}$$

Relación entre ambos conceptos

$$H_m = \frac{H_s}{H_s + 1}$$

Según la norma UNE 164001 EX, mediante la siguiente expresión es posible calcular el poder calorífico en función de la humedad en base húmeda.



$$PCI = (PCS_0 \cdot 1000(1 - H_m) - 11,27 \cdot (H_m \cdot 100) - 1322)/1000$$

siendo: PCS_0 : poder calorífico superior de la biomasa con humedad cero (kJ/kg)

La mayor parte de los residuos que se empleen en la planta de gasificación procederán del *Pinus Sylvestris*, especie perteneciente a la familia Pinacea.

Según datos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), el valor de PCS_0 para las leñas de esta especie, es de 21,1 MJ/kg.

Según la equivalencia de unidades se aplica la siguiente fórmula para la obtención de toneladas equivalentes de petróleo (tep) equivalentes a una tonelada de biomasa verde (h%)

$$\frac{tep}{tm} = PCI(H_m) \cdot 0,0239$$

En la Tabla I.2 se muestra el valor del Poder Calorífico Inferior en función del grado de humedad de la biomasa.

Tabla I.2. Valor PCI en función del grado de humedad

Humedad Base Húmeda (%)	PCI (kJ/kg)	PCI (kcal/kg)	tep/tm
42,5	12.130,70	2.897,37	289,924
40	16.658,23	3.023,37	302,53
30	14.768,34	3.527,36	352,96
20	16.878,45	4.031,35	403,4
15	17.933,51	4.283,35	428,61
12,5	18.461,04	4.409,34	441,22
10	18.988,57	4.535,34	453,83



1.3 Consumo de biomasa en planta

Como se ha señalado anteriormente, la humedad de los residuos influye de manera decisiva en el comportamiento energético de la biomasa.

El fabricante del secador permite un índice de humedad del 50% en base húmeda, consiguiendo al final del proceso una humedad apropiada para la gasificación (15%).

Con estos datos, se calcularán las necesidades de biomasa que debe para abastecer al gasificador y a la planta.

La producción a la salida del secador es el consumo de entrada al gasificador.

Dado que el gasificador consume 1.125 kg/h de biomasa con un 15% de humedad, el peso al perder toda la humedad de la biomasa será:

$$15\% = \frac{1125 - p_0}{1125} \Rightarrow p_0 = 965,25 \text{ kg/h}$$

Aplicando de nuevo la expresión de humedad en base húmeda para la humedad media de la biomasa utilizada, que será de un 42,5%, obtenemos el consumo de biomasa de la planta, anterior a la entrada en el secador.

$$42,5\% = \frac{p_{42,5} - p_0}{p_0} \Rightarrow p_{42,5} = 1.663,04 \text{ kg/h}$$

Suponiendo un funcionamiento de 7.500 h/año, el consumo de biomasa total de la planta será de **12,476 · 10⁶ kg/año**, es decir 12.476 toneladas/año.



2. Generación de energía térmica

Según las características del pinus sylvestris, la biomasa llegará a la planta con una humedad en torno al 40-45%. Parte del calor generado en el proceso lo utilizaremos para reducir la humedad de los residuos mediante un secador tipo trommel hasta conseguir una humedad del 15%, adecuada para el gasificador.

2.1 Potencia térmica secado

Calculamos la *cantidad de agua a evaporar* como la diferencia en peso de la biomasa a la entrada del secador (humedad media del 42,5%) y el peso de la misma a la salida (15% H_m), ya dispuesta para su uso en planta.

$$\dot{m}_{agua} = p_{42,5} - p_{15} = 1.663,04 - 1.125 = 538,04 \frac{kg}{h} = 0,1495 \frac{kg}{s}$$

Luego la *potencia térmica necesaria para el secado*, conociendo que la variación de entalpía a 100°C, contenido en la Tabla I.3 es $\Delta h''=2.257$ kJ/kg, será:

$$P_{secado} = 0,1495 \frac{kg}{s} \cdot 2.257 \frac{kJ}{kg} = 337,42 \text{ kW}$$

Tabla I.3. Tabla de vapor saturado agua

Temperatura (°C)	Presión de saturación (kPa)	Volumen específico (m³/kg)		Entalpía (kJ/kg)		
		Líquido saturado V _f	Vapor saturado V _g	Líquido saturado h _f	Evaporación h _{fg}	Vapor saturado h _g
100	101,35	0,001044	16,729	419,04	2.257	2.676,10
105	120,82	0,001048	14,194	440,02	2.072,30	2.512,40
110	143,27	0,001052	12,102	461,14	2.057	2.518,10
115	196,06	0,001056	10,366	482,48	2.216,50	2.699



2.2 Energía térmica recuperable

En la tabla I.4 se muestran las principales características del grupo motogenerador utilizado.

Tabla I.4. Características Jenbacher JMS 612 GS-B.L

Módulo de cogeneración	
Potencia de entrada	3.664 kW
Potencia eléctrica salidas	1.458 kW _e
Rendimiento eléctrico	39,80%
Potencia térmica recuperable	1.648 kW
Rendimiento térmico	45%
Rendimiento total	84,80%

Fuente. Jenbacher Gas Engines

Se observa que la potencia del gas de entrada ha de ser de 3.664 kW para obtener un rendimiento del 100%. Sin embargo, el gasificador propuesto proporciona 3.597 kW, lo que supone que el grupo motogenerador *funcionará a un 98,17 %* de su capacidad, obteniendo por tanto, valores ligeramente inferiores a los descritos en la Tabla I.3.

Suponiendo una relación lineal, la potencia térmica recuperable será:

$$1.648 \cdot 0,9817 = 1.617,84 \text{ kW}$$



2.3 Energía térmica disponible para la venta

De los 1.617,85 kW generados, 337,42 kW serán empleados en secar la biomasa para cumplir con los requerimientos de humedad del gasificador, quedando por tanto:

$$1.617,84 - 337,42 = 1.280,42 \text{ kW}$$

Esos 1.280,42 kW serán utilizados en otros usos térmicos que requiera la planta, o podrán ser vendidos a otras empresas presentes en el polígono u organismos públicos para otros usos.

3. Energía eléctrica generada

En relación con la generación eléctrica, conforme a los datos aportados por el fabricante en la Tabla I.3 del apartado anterior, se establece un rendimiento eléctrico del 39,8% con una salida de 1.458 kWe.

Sin embargo, hemos comprobado que la potencia contenida en el gas de salida del gasificador no llega a cumplir con el requerimiento de potencia de entrada del motor JMS 612 GS-B.L., trabajando el mismo a un 98,17% de su capacidad a plena carga.

De forma análoga al apartado referente a la energía térmica, se supondrá que ese 98,17% tiene una relación lineal con la potencia de salida.

$$1.458 \cdot 0,9817 = 1.431,32 \text{ kW}$$

Por lo tanto, la planta entregará a la red una potencia 1.431,32 kW, que suponiendo un funcionamiento de 7.500 horas al año, hace un total de 10.734,9 MWh.



4. Seguridad contra incendios

Para los cálculos relacionados con la seguridad antincendios, se toma como referencia el REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales, que se encuentra con mayor detalle en el anexo correspondiente (Anexo VI).

4.1 Capacidad de la nave de almacenamiento

La biomasa llega que llega a la planta será almacenada en una nave de forma que esté protegida de los agentes atmosféricos y preparada para su inmediata utilización.

Las dimensiones de la nave de almacenamiento serán las indicadas para garantizar a la planta una autonomía durante una serie de jornadas, de forma que pueda seguir funcionando incluso si se viera afectada por cualquier factor externo (incapacidad de abastecimiento por condiciones climatológicas, huelgas, etc.), asegurando la producción de energía. Además, estará condicionada también por la prevención de incendios del combustible almacenado.

En el caso que se está tratando, se supondrá una nave de almacenamiento que garantice suministro a la planta durante 5 días.

Conociendo que el consumo anual es de 12.476 Tm/año, la nave de almacenamiento deberá tener capacidad para 173 toneladas. Puesto que la biomasa triturada procedente del pino silvestre tiene una densidad aproximada de 200 kg/m^3 , el volumen a almacenar será de 865 m^3 .

A la hora de apilar este volumen, se tratará de evitar pilas de biomasa superiores a un volumen de 50 m^3 para conservar el material en buenas condiciones y evitar fenómenos de ignición espontánea.



Al considerar esto, el material se almacenará en 18 pilas de dimensiones cuatro metros de largo, tres metros de ancho y cuatro metros de alto cada una, formando un máximo de 48 m^3 por pila.

Entre cada pila se guarda una anchura mínima de 1,5 m tal y como exige el reglamento contra incendios, y una anchura de la franja perimetral igual a la altura de la pila, en nuestro caso, cuatro metros.

Conforme a los requerimientos anteriormente citados, la nave de almacenaje propuesta tendrá forma rectangular con 47 metros de largo por 18 metros de ancho, formando una superficie de 846 m^2 .

4.2 Caracterización de los establecimientos industriales por su nivel de riesgo intrínseco

4.2.1 Riesgo intrínseco del edificio de generación eléctrica

En este edificio se encuentra toda la zona de combustión de biomasa así como la generación eléctrica, actividad con gran riesgo intrínseco. Se ha definido como edificio de TIPO C (el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia de más de 3 m del edificio más próximo de otros establecimientos).

La expresión a aplicar para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier cosa distinta al almacenamiento; en los que se incluyen los acopios de materiales y productos cuyo consumo o producción es diario es la indicada a continuación.



$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{si} \cdot S_i \cdot C_i}{A} \cdot R_a$$

siendo q_s , densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector de incendio, en MJ/m² o Mcal/m² → $q_s=200 \text{ MJ/m}^2$ (como la cogeneración industrial no está incluida supondremos similar a la correspondiente a edificios de calderas y estufas a gas)

C_i , coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad de cada uno de los combustibles (i) que existe en el sector de incendio → $C_i = 1,6$

R_a , coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial → $R_a=1$

S_i , superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego, q_{si} diferente en m².

A , superficie construida del sector de incendio, en m².

Sustituyendo en la expresión anterior por los datos correspondientes:

$$Q_s = \frac{200 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2} \cdot 840 \text{ m}^2 \cdot 1,6}{840 \text{ m}^2} \cdot 1 = 320 \frac{\text{MJ}}{\text{m}^2}$$

El nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio, a efectos de aplicación del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales del 17 de Diciembre de 2004, se considera como nivel bajo (1) $Q_s \leq 425 \text{ MJ/m}^2$.



4.2.2 Riesgo intrínseco de la nave de almacenamiento

La nave de almacenamiento es un edificio de TIPO D (el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que puede ser totalmente cubierto, alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento lateral).

La expresión a aplicar será:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} \cdot S_i \cdot C_i \cdot h_i}{A} \cdot R_a$$

siendo q_{vi} , carga de fuego por cada m^3 de cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) en el sector de incendio, en MJ/m^3 o $Mcal/m^3 \rightarrow q_{vi}=2500 MJ/m^3$ (correspondiente a leña)

h_i , altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles (i), en m $\rightarrow h_i=4 m$

$$A = S_i = 846 m^2$$

$$R_a = 2 \text{ (correspondiente a leña)}$$

$$C_i = 1,6$$

Sustituyendo en la expresión anterior por los datos correspondientes:

$$Q_s = \frac{2500 \frac{MJ}{m^3} \cdot 846 m^2 \cdot 1,6 \cdot 4 m}{846 m^2} \cdot 2 = 32.000 \frac{MJ}{m^2}$$

El nivel de riesgo intrínseco de cada sector o área de incendio, a los efectos de aplicación del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales del 17 de Diciembre de 2004, se considera como nivel alto (8) si $Q_s > 13.600 MJ/m^2$.



5. Cálculo del rendimiento

5.1 Rendimiento de la instalación

Se determinará el rendimiento total de la instalación mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{E + V}{Q}$$

siendo: E : energía eléctrica generada medida en bornes de alternador.

En nuestro caso, $E = 1.431,32 \text{ kW}$

V : producción de calor útil.

En este caso $V = 1.617,84 \text{ kW}$

Q : consumo de energía primaria, medida por el Poder Calorífico Inferior del combustible utilizado

$$Q = 12.130,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 0,462 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 5.604,38 \text{ kW}$$

Sustituyendo dichos valores en la expresión del rendimiento, se obtiene un **$R = 54,4 \%$**

5.2 Rendimiento Eléctrico Equivalente

Compara la eficiencia eléctrica de una planta de cogeneración con el rendimiento eléctrico o global de una planta que únicamente produzca energía eléctrica. Su expresión es la siguiente:

$$REE = \frac{E}{Q - \left(\frac{V}{RefH}\right)}$$

donde: E, V y Q han sido definidos en el apartado anterior
 $RefH$: es el valor de referencia del rendimiento para la producción separada de calor. Los valores según el tipo de combustible utilizado se encuentran en el *Anexo II*



de la Decisión de la Comisión de 21 de diciembre de 2006.

Se detallan a continuación en la Tabla I.5.

Tabla I.5 Valores de referencia de la eficiencia armonizados para la producción por separado de calor

Tipo de combustible	Vapor / agua caliente	Gases de escape
Hulla / coque	0,88	0,8
Lignito / briquetas de lignito	0,86	0,78
Turba / briquetas de turba	0,86	0,78
Combustibles de madera	0,86	0,78
Biomasa agrícola	0,8	0,72
Residuos biodegradables (municipales)	0,8	0,72
Residuos no renovables (municip. e industriales)	0,8	0,72
Esquisito bituminoso	0,86	0,78

Fuente: Diario Oficial de la Unión Europea (6.2.2007)

Sustituyendo dichos valores en la expresión del REE, se obtendrá un **REE = 40,5 %**.



6. Régimen económico

Dada la incertidumbre que existe actualmente en el sector de las energías renovables, y el cambio de legislación producido durante el desarrollo de este proyecto, se estudiarán las condiciones legislativas en las que se sitúa el proyecto según los últimos reales decretos que lo regulan.

6.1 Según el Real Decreto 661/2007

La instalación se ubica en:

- *Categoría a*: “productores que utilicen la cogeneración u otras formas de producción de electricidad a partir de energías residuales”
- *Grupo a.1.*: “instalaciones que incluyan una central de cogeneración siempre que supongan un alto rendimiento energético y satisfagan los requisitos que se determinan en el Anexo I”

El Anexo I del RD 661/2007 dice en su punto 4 que: “Será condición necesaria para poder acogerse al régimen especial regulado en este Real Decreto, para las instalaciones de producción del grupo a.1 del artículo 2.1 y para aquéllas que estén acogidas a la disposición transitoria segunda del presente real decreto y anteriormente les fuese de aplicación este requisito, que el rendimiento eléctrico equivalente de la instalación, en promedio de un período anual, sea igual o superior al que le corresponda según la Tabla I.6.”



Tabla I.6. REE mínimo para acogerse al régimen especial

Tipo de combustible	REE (%)
Combustibles líquidos en centrales con calderas	49
Combustibles líquidos en motores térmicos	56
Combustibles sólidos	49
Gas natural y GLP en motores térmicos	55
Gas natural y GLP en turbinas de gas	59
Otras tecnologías y/o combustibles	59
Biomasa incluida en los grupos b.6 y b.8	30
Biomasa y/o biogás incluido en el grupo b.7.	50

Fuente: Real Decreto 661/2007

- *Subgrupo a.1.3.:* “cogeneraciones que utilicen como combustible principal la biomasa y/o biogás, en los términos que figuran en el Anexo II, y siempre que ésta suponga al menos el 90 por ciento de la energía primaria utilizada, medida por el Poder Calorífico Inferior”

Por el Anexo II, comprobamos que el combustible que utilizaremos estará dentro del Grupo b.6.3.

Subgrupo b.6.3

- Residuos de aprovechamientos forestales y otras operaciones silvícolas en las masas forestales y espacios verdes.
- Biomasa residual producida durante la realización de cualquier tipo de tratamiento o aprovechamiento selvícola en masas forestales, incluidas cortezas, así como la generada en la limpieza y mantenimiento de los espacios verdes.



Luego, se observa que el REE de nuestra instalación está por encima del 30% exigido por la Ley (*Anexo I RD 661/2007*), por lo se podrá acoger a las primas del régimen especial.

La electricidad producida será cedida a la través de la red de transporte o distribución, y percibiremos por ello una tarifa regulada, única para todos los periodos de programación.

Según el Capítulo IV del Real Decreto, esta retribución será variable en función de la potencia eléctrica de la planta (menor o mayor a 2 MW) y del combustible utilizado, siendo el precio final de la tarifa:

$$PFT = Ptr + CR + Cef$$

donde: *Ptr*: precio tarifa base, según la tabla I.7

Tabla I.7. Precio tarifa base

Subgrupo	Combustible	Potencia	Plazo	Tarifa regulada c€/kWh	Prima de referencia c€/kWh
a.1.3	b.6.3	$P \leq 2$ MW	primeros 15 años	12,7998	8,4643
			a partir de entonces	8,6294	0
		$2 \text{ MW} \leq P$	primeros 15 años	11,8294	7,2674
			a partir de entonces	8,066	0

Fuente: Real Decreto 661/2007

$$Ptr = 12,7998 \frac{\text{c€}}{\text{kWh}} \cdot (1.431,32 \text{ kW} \cdot 7500h)$$

$$Ptr = 1.374.045,73 \text{ €}$$

CR: Complemento por energía Reactiva, se fija como un porcentaje, en función del factor de potencia con el que se entregue la energía de valor 7,8441 c€/kWh.

Dicho porcentaje se encuentra en el Anexo V del RD.



Si supongo un factor de potencia unidad, obtendré un 4% de bonificación durante las horas llano (de 18 a 24)

$$CR = 0,04 \cdot \frac{1}{4} \cdot 7,8441 \frac{c\text{€}}{kWh} \cdot (1.431,32 \text{ kW} \cdot 7500h)$$

$$CR = 8.420,56 \text{ €}$$

Cef: Complemento por eficiencia

$$Cef = 1,1 \cdot \left(\frac{1}{REE_{\text{mínimo}}} - \frac{1}{REE_i} \right) \cdot Cmp$$

REE_{mínimo}: REE mínimo exigido (*Anexo I RD 661/2007*). REE_{mínimo} = 0,3.

REE_i: REE acreditado de la instalación, calculado anteriormente. REE_i = 0,405.

Cmp: coste unitario de la materia prima del gas natural, publicado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Cmp = 2,1265 c€/kWh_{PCS}

$$Cef = 217.004,68 \text{ €}$$

Luego el Precio Final Tarifa será de **1.599.470,97 €** al año durante los primeros 15 años.



6.2 Según el Real Decreto 1/2012

El RDL 1/2012 suprime los incentivos económicos para las instalaciones de producción de energía eléctrica en régimen especial, así como el procedimiento de preasignación de retribución para el otorgamiento del régimen económico primado.

- Se suprimen los valores de las tarifas reguladas, primas y límites previstos en el RD 661/2007
- Se suprimen el complemento por eficiencia y el complemento por energía reactiva.

Por lo tanto, la entrada de este Real Decreto, hace que se tenga que acudir al Mercado de Energía Eléctrica.

A continuación se realiza un breve resumen acerca del funcionamiento del Mercado Eléctrico Español:

Las empresas que fabrican electricidad hacen ofertas de venta de determinadas cantidades de electricidad a determinado precio, para cada una de las horas del día. Al mismo tiempo, los consumidores directamente (en el caso de ser consumidores cualificados, actualmente sólo algunas grandes empresas) o indirectamente, a través de las empresas eléctricas, hacen ofertas de compra.

La suma de las ofertas de compra configura una curva de demanda. Para cubrirla, se eligen las ofertas de venta más baratas, hasta satisfacer toda la demanda. El precio de la electricidad será el de la última oferta. No obstante, hasta la liberalización completa del mercado, las tarifas para los "consumidores no cualificados" pagarán tarifas eléctricas establecidas por la administración.

El Operador del Mercado y el Operador del Sistema son sociedades mercantiles que intervienen en las transacciones económicas del mercado. OMI-POLO ESPAÑOL, S.A. (OMIE), como

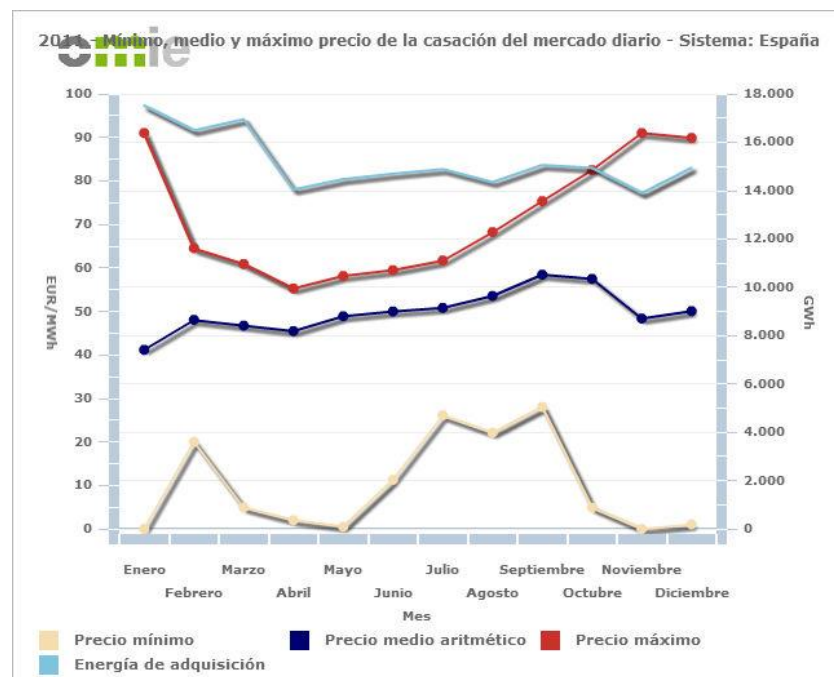


operador del mercado, es la responsable de la gestión económica del sistema, mientras que Red Eléctrica de España, S.A., como operador del sistema, es la responsable de la gestión técnica del mismo.

La Comisión del Sistema Eléctrico protege los intereses de los consumidores y vela por la transparencia de todo el sistema. El Ministerio de Industria y Energía debe controlar el correcto funcionamiento de las actividades de producción y consumo de energía eléctrica. Las Comunidades Autónomas también tienen competencias en la regulación del sistema eléctrico. Por último, la Unión Europea, a través de Directivas y normativas legales, establece el marco general del sistema eléctrico en todos los países de la Unión.

En la figura I.1 se observan los precios del mercado diario español en 2011.

Figura I.1. Precios del mercado diario español en 2011



Fuente: OMIE



La Tabla I.8, incluye los datos proporcionados por la OMIE acerca de los precios medios aritméticos del mercado diario español durante el año 2011.

Tabla I.8 Precio medio aritmético mercado diario español 2011

Mes	Precio medio aritmético (€/MWh)	Energía de adquisición (GWh)
Enero	41,19	17.515
Febrero	48,03	16.496
Marzo	46,7	16.957
Abril	45,45	14.053
Mayo	48,9	14.464
Junio	50	14.701
Julio	50,82	14.889
Agosto	53,53	14.360
Septiembre	58,47	15.066
Octubre	57,41	14.936
Noviembre	48,38	13.907
Diciembre	50,07	14.940
MEDIO	49,93	15.190,33

Fuente: OMIE

Teniendo en cuenta además que el Índice de Precios al Consumo (IPC) en España a día 1 de octubre de 2012 es del 3,412%, el precio estimado al que será vendida la electricidad será:

$$49,93 \frac{\text{€}}{\text{MWh}} \cdot 1,03412 \cdot 1,43132 \text{ MW} \cdot 7500h = 554.281,65 \text{ €}$$

Se puede observar un notable descenso de ingresos por venta de electricidad conforme al sistema de primas al régimen especial que establecía el anterior RD. Será necesario observar si el cambio de legislación hace viable nuestro proyecto.

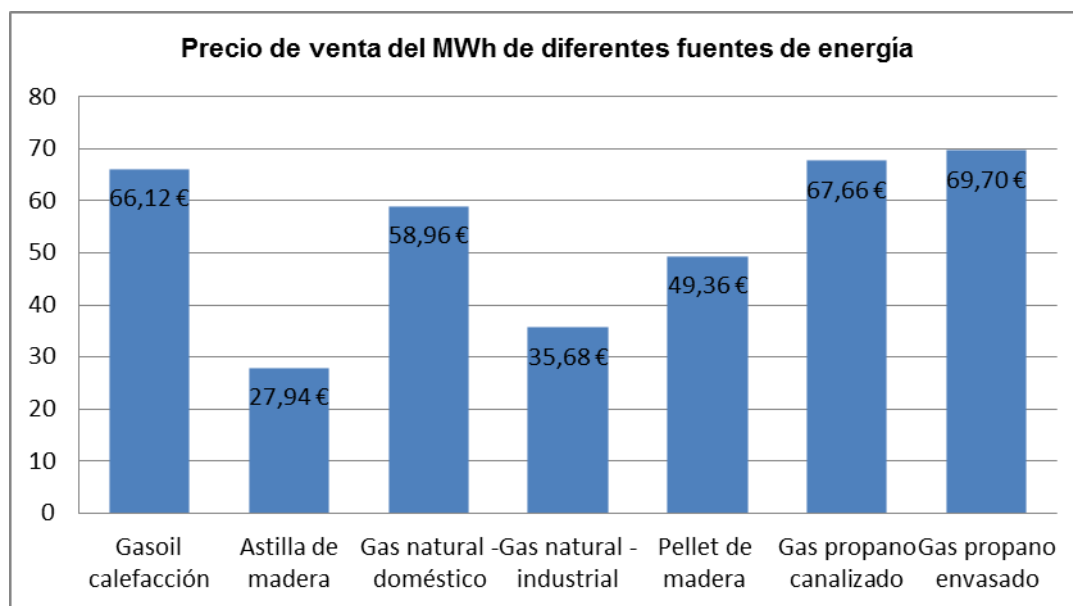


6.3 Retribución por venta de energía térmica

Al producir el motor mayor energía térmica que la estrictamente necesaria para el secado de la biomasa, se podrá obtener también una retribución por parte de la venta de energía térmica, ya sea a empresas madereras cercanas que la utilicen en el desarrollo de su actividad industrial, como a los municipios cercanos a la planta, que la podrán utilizar para múltiples actividades (calefacción, calentamiento de agua en las piscinas municipales, etc.).

En la Figura I.2 se muestran los precios por unidad energética de diferentes combustibles, actualizados en marzo de 2010 según un estudio del Centro Tecnológico Forestal de Cataluña.

Figura I.2. Precio de venta del MWh térmico



Fuente: Proyecto Intrader, Centro Tecnológico Forestal de Cataluña

En términos puramente energéticos, la competencia más fuerte de la astilla es la hecha por los combustibles fósiles, ya que por su naturaleza (líquidos o gaseosos) son de distribución relativamente más fácil y dejan muy pocos, o ninguno, residuos de combustión. En concreto, los



combustibles fósiles que más duramente compiten con la astilla son el gasóleo de calefacción, el gas natural, el propano (gas ciudad), y el butano.

El hecho de estar sometidos a fuertes especulaciones, tanto con respecto al precio como a la producción, origina una gran incertidumbre tanto en su disponibilidad como en el precio.

Como se observa en la figura, tanto la astilla proveniente de Gestión Forestal Sostenible (GFS) como la industrial son suficientemente competitivas con el resto de combustibles fósiles como para presentar amortizaciones de equipos en tiempos bastante cortos.

La diferencia en el precio entre la astilla de GFS y los otros combustibles fósiles, permite ofrecer ofertas atractivas a actuales o potenciales usuarios de gasoil de calefacción y gases licuados del petróleo. Para poder ofrecer competencia al gas natural, el dimensionado de la caldera o sistema energético debe ser tal, que permita un consumo continuado del combustible a lo largo de todo el año.

La cantidad de energía térmica que podremos vender es:

$$1.617,84 - 337,42 = 1280,42 \text{ kW}$$

Atendiendo al precio de 27,94 €/MWh fijado por el estudio

$$1,28042 \text{ MW} \cdot 7500 \text{ h} \cdot 27,94 \frac{\text{€}}{\text{Mwh}} = \mathbf{268.312,011 \text{ €}}$$



7. Análisis económico

Mediante el uso de herramientas económicas se determinará la rentabilidad económica del proyecto, y por tanto, de ello dependerá su viabilidad desde el punto de vista económico.

Para obtener estos indicadores económicos se habrán de conocer diferentes aspectos de nuestra planta, como son:

- Coste del proyecto

El coste del proyecto, que viene desglosado en el documento correspondiente al presupuesto (Documento 4). Incluye los siguientes aspectos:

- Adquisición del terreno.
- Construcción de los edificios industriales
- Sistema de alimentación de combustible
- Compra e instalación de los equipos constituyentes del proceso

El coste del proyecto asciende a la cantidad de 2.531.966,44 €.

- Costes de operación y mantenimiento

Se han estimado una serie de gastos de explotación y mantenimiento de las instalaciones, cuyos gastos son los siguientes.

- Mantenimiento motogenerador: 1 €/MWh_e: 10.734,9 €
- Mantenimiento preventivo instalaciones: 3.000 €
- Mantenimiento correctivo 1% del presupuesto: 25.319,66 €
- Seguros: 0,5% del presupuesto: 12.972,55 €
- Sueldos brutos: 149.436 €
 - Jefe de la planta: 28.792 €/año



- Jefe de mantenimiento: 26.468 €/año
- Operario: 23.544 €/año

Total costes de operación y mantenimiento: 201.462,31 €

- Coste de la biomasa

Como se ha especificado tanto en la memoria como en el anexo 'Recogida de biomasa' (Anexo III), para la planta se podrá obtener biomasa residual procedente de tratamientos silvícolas o de industrias de primera transformación.

Como el precio de los residuos de industrias de primera transformación será en principio mayor que el de la biomasa procedente de aprovechamientos silvícolas, se supondrá en principio que la biomasa de la planta será procedente de estos últimos.

Según se detalla en el anexo 'Recogida de biomasa' (Anexo III, 5), el coste 1 Tm de biomasa es de 33 €.

$$33 \frac{\text{€}}{\text{Tm}} \cdot 12.476 \text{ Tm} = 411.708 \text{ €}$$

Luego el coste anual de la biomasa es de 411.708 €.

- Ingresos por la venta de energía

Se ha llevado a cabo en el apartado 6, donde se han diferenciado dos tipos de retribución según la legislación a aplicar para los precios de la energía eléctrica.

- Venta energía eléctrica
 - Según RD 661/2007: 1.599.470,97 €/año
 - Según RD 1/2012: 554.281,65 €/año
- Ingresos venta energía térmica: 268.312,01 €/año



Por lo tanto, con la normativa del RD 661/2007 se ingresarían 1.867.782,981 € y con el RD 1/2012 la cantidad ingresada baja hasta los 822.593,01 €

INDICADORES DE LA RENTABILIDAD

En las Tablas I.10 y I.11 se muestra el cálculo de los indicadores de la rentabilidad para el RD 661/2007.

VAN (Valor Actual Neto)

Es uno de los criterios económicos más ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. Consiste en determinar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y comparar esta equivalencia con el desembolso inicial, de tal forma que si es mayor, será recomendable que el proyecto sea aceptado.

Permite calcular el presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (es decir, actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La fórmula que permite su cálculo es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$$

donde: V_t , representa los flujos de caja en cada periodo t.

I_0 , es el valor del desembolso inicial de la inversión

n , es el número de periodos considerado



k , es la tasa de actualización económico, que en este caso se toma del 5%

Para el cálculo de la amortización, supondremos que tanto los edificios industriales como el terreno mantendrán su valor residual, por lo que deberemos amortizar los equipos, que se les ha supuesto una vida útil de 16 años (0,0625 % anual).

$$\text{Amortización equipos} = 0,0625 \cdot 1.356.711 = 84.794,43 \text{ €}$$

El impuesto sobre sociedades en España es del 30% sobre el beneficio bruto.

A continuación, las tablas I.9 y I.10 muestran el cálculo de los beneficios para el primer año de funcionamiento de la planta según las dos normativas consideradas.

Tabla I.9. Flujo de caja año 1 según RD 661/2007

INGRESOS		
Energía eléctrica		1.599.470,97 €
Energía térmica		268.312,01 €
<i>Ingresos totales</i>		1.867.782,98 €
GASTOS		
Biomasa		411.708 €
Operación y mantenimiento		201.462 €
Amortización		84.794,43 €
<i>Gastos totales</i>		697.964,43 €
Beneficio neto		1.169.818,55 €
<i>Impuesto de sociedades (30%)</i>		350.945,56 €
Beneficio neto después de impuestos		818.872,99 €



Tabla I.10. Flujo de caja año 1 según RD 1/2012

INGRESOS		
Energía eléctrica		554.281,65 €
Energía térmica		268.312,01 €
<i>Ingresos totales</i>		822.592,01 €
GASTOS		
Biomasa		411.708 €
Operación y mantenimiento		201.462 €
Amortización		84.794,43 €
<i>Gastos totales</i>		697.964,43 €
Beneficio neto		124.627,58 €
<i>Impuesto sociedades (30%)</i>		37.288,27
Beneficio neto después de impuestos		87.239,31 €

- RD 661/2007 → VAN = 9.379.795 €
- RD 1/2012 → VAN = - 309.414,86 €

TIR (Tasa Interna de Retorno)

Se utiliza para decidir sobre la aceptación o rechazo de un proyecto de inversión. Para ello la TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión. Si la TIR supera la tasa de corte, se acepta la inversión.

La fórmula para esta expresión es la que hace el Valor Actual Neto de una inversión igual a cero.

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t}$$



- RD 661/2007 → $TIR = 38\%$
- RD 1/2012 → $TIR = 3\%$

PAY BACK (Periodo Medio de Maduración)

Es el plazo de recuperación de la inversión, es decir, el periodo de tiempo que necesita una inversión para que el valor actualizado de los flujos netos de caja iguale al capital invertido. Permite seleccionar aquellos proyectos cuyos beneficios permitan recuperar más rápidamente la inversión.

- RD 661/2007 → *PAY BACK 2-3 años*
- RD 1/2012 → *PAY BACK 12-13 años*

En la Tabla I.11 se muestra el cálculo de los indicadores de la rentabilidad para el RD 661/2007.

En la Tabla I.12 se muestra el cálculo de los indicadores de la rentabilidad para el RD 1/2012.



Tabla I.11. Indicadores de la rentabilidad para RD 667/2007

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Inversión Inicial	2.531.966,44 €																
INGRESOS																	
Venta energía eléctrica		1.599.470,97 €	1.647.455,10 €	1.696.878,75 €	1.747.785,11 €	1.800.218,67 €	1.854.225,23 €	1.909.851,98 €	1.967.147,54 €	2.026.161,97 €	2.086.946,83 €	2.149.555,23 €	2.214.041,89 €	2.280.463,15 €	2.348.877,04 €	2.419.343,35 €	2.491.923,66 €
Venta energía térmica		268.312,01 €	276.361,37 €	284.652,21 €	293.191,78 €	301.987,53 €	311.047,16 €	320.378,57 €	329.989,93 €	339.889,63 €	350.086,32 €	360.588,91 €	371.406,57 €	382.548,77 €	394.025,23 €	405.845,99 €	418.021,37 €
Total ingresos		1.867.782,98 €	1.923.816,47 €	1.981.530,96 €	2.040.976,89 €	2.102.206,20 €	2.165.272,39 €	2.230.230,56 €	2.297.137,47 €	2.366.051,60 €	2.437.033,15 €	2.510.144,14 €	2.585.448,46 €	2.663.011,92 €	2.742.902,28 €	2.825.189,34 €	2.909.945,02 €
GASTOS																	
Compra combustible		411.708,00 €	424.059,24 €	436.781,02 €	449.884,45 €	463.380,98 €	477.282,41 €	491.600,88 €	506.348,91 €	521.539,38 €	537.185,56 €	553.301,12 €	569.900,16 €	586.997,16 €	604.607,08 €	622.745,29 €	641.427,65 €
Operación y mantenimiento		201.462,00 €	207.505,86 €	213.731,04 €	220.142,97 €	226.747,26 €	233.549,67 €	240.556,16 €	247.772,85 €	255.206,03 €	262.862,22 €	270.748,08 €	278.870,52 €	287.236,64 €	295.853,74 €	304.729,35 €	313.871,23 €
Amortización equipos		84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €
Total gastos		697.964,43 €	716.359,53 €	735.306,48 €	754.821,84 €	774.922,67 €	795.626,51 €	816.951,48 €	838.916,19 €	861.539,84 €	884.842,20 €	908.843,64 €	933.565,11 €	959.028,23 €	985.255,25 €	1.012.269,07 €	1.023.134,50 €
Beneficios		1.169.818,55 €	1.207.456,94 €	1.246.224,48 €	1.286.155,05 €	1.327.283,53 €	1.369.645,87 €	1.413.279,08 €	1.458.221,29 €	1.504.511,76 €	1.552.190,94 €	1.601.300,50 €	1.651.883,35 €	1.703.983,69 €	1.757.647,03 €	1.812.920,27 €	1.866.810,52 €
Impuesto de sociedades		350.945,57 €	362.237,08 €	373.867,34 €	385.846,51 €	398.185,06 €	410.893,76 €	423.983,72 €	437.466,39 €	451.353,53 €	465.657,28 €	480.390,15 €	495.565,01 €	511.195,11 €	527.294,11 €	543.876,08 €	566.043,16 €
Beneficios tras impuestos		818.872,99 €	845.219,86 €	872.357,14 €	900.308,53 €	929.098,47 €	958.752,11 €	989.295,36 €	1.020.754,90 €	1.053.158,23 €	1.086.533,66 €	1.120.910,35 €	1.156.318,35 €	1.192.788,58 €	1.230.352,92 €	1.269.044,19 €	1.320.767,37 €
Amortización equipos		84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €
Flujo de caja	-	2.531.966,44 €	903.667,42 €	930.014,29 €	957.151,57 €	985.102,96 €	1.013.892,90 €	1.043.546,54 €	1.074.089,79 €	1.105.549,33 €	1.137.952,66 €	1.171.328,09 €	1.205.704,78 €	1.241.112,78 €	1.277.583,01 €	1.315.147,35 €	1.353.838,62 €
Acumulado	-	2.531.966,44 €	-1.628.299,03 €	-698.284,74 €	258.866,83 €	1.243.969,79 €	2.257.862,69 €	3.301.409,23 €	4.375.499,02 €	5.481.048,35 €	6.619.001,01 €	7.790.329,10 €	8.996.033,88 €	10.237.146,66 €	11.514.729,67 €	12.829.877,02 €	14.183.715,64 €
VAN (al 5%)	9.379.795,52 €																
TIR	38%																

Tabla I.12 Indicadores de la rentabilidad para RD 1/2012

AÑO	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Inversión Inicial	2.531.966,44 €																
INGRESOS																	
Venta energía eléctrica		554.281,65 €	570.910,10 €	588.037,40 €	605.678,52 €	623.848,88 €	642.564,35 €	661.841,28 €	681.696,52 €	702.147,41 €	723.211,83 €	744.908,19 €	767.255,43 €	790.273,10 €	813.981,29 €	838.400,73 €	863.552,75 €
Venta energía térmica		268.312,01 €	276.361,37 €	284.652,21 €	293.191,78 €	301.987,53 €	311.047,16 €	320.378,57 €	329.989,93 €	339.889,63 €	350.086,32 €	360.588,91 €	371.406,57 €	382.548,77 €	394.025,23 €	405.845,99 €	418.021,37 €
Total ingresos		822.593,66 €	847.271,47 €	872.689,61 €	898.870,30 €	925.836,41 €	953.611,50 €	982.219,85 €	1.011.686,44 €	1.042.037,04 €	1.073.298,15 €	1.105.497,09 €	1.138.662,01 €	1.172.821,87 €	1.208.006,52 €	1.244.246,72 €	1.281.574,12 €
GASTOS																	
Compra combustible		411.708,00 €	424.059,24 €	436.781,02 €	449.884,45 €	463.380,98 €	477.282,41 €	491.600,88 €	506.348,91 €	521.539,38 €	537.185,56 €	553.301,12 €	569.900,16 €	586.997,16 €	604.607,08 €	622.745,29 €	641.427,65 €
Operación y mantenimiento		201.462,00 €	207.505,86 €	213.731,04 €	220.142,97 €	226.747,26 €	233.549,67 €	240.556,16 €	247.772,85 €	255.206,03 €	262.862,22 €	270.748,08 €	278.870,52 €	287.236,64 €	295.853,74 €	304.729,35 €	313.871,23 €
Amortización equipos		84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €
Total gastos		697.964,43 €	716.359,53 €	735.306,48 €	754.821,84 €	774.922,67 €	795.626,51 €	816.951,48 €	838.916,19 €	861.539,84 €	884.842,20 €	908.843,64 €	933.565,11 €	959.028,23 €	985.255,25 €	1.012.269,07 €	1.023.134,50 €
Beneficios		124.629,23 €	130.911,94 €	137.383,13 €	144.048,46 €	150.913,74 €	157.984,99 €	165.268,37 €	172.770,26 €	180.497,20 €	188.455,95 €	196.653,46 €	205.096,89 €	213.793,63 €	222.751,28 €	231.977,65 €	258.439,62 €
Impuesto de sociedades		37.388,77 €	39.273,58 €	41.214,94 €	43.214,54 €	45.274,12 €	47.395,50 €	49.580,51 €	51.831,08 €	54.149,16 €	56.536,78 €	58.996,04 €	61.529,07 €	64.138,09 €	66.825,38 €	69.593,29 €	77.531,89 €
Beneficios tras impuestos		87.240,46 €	91.638,36 €	96.168,19 €	100.833,92 €	105.639,62 €	110.589,49 €	115.687,86 €	120.939,18 €	126.348,04 €	131.919,16 €	137.657,42 €	143.567,83 €	149.655,54 €	155.925,89 €	162.384,35 €	180.907,73 €
Amortización equipos		84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €	84.794,43 €
Flujo de caja	-	2.531.966,44 €	172.034,89 €	176.432,79 €	180.962,62 €	185.628,35 €	190.434,05 €	195.383,92 €	200.482,29 €	205.733,61 €	211.142,47 €	216.713,59 €	222.451,85 €	228.362,26 €	234.449,97 €	240.720,32 €	247.178,78 €
Acumulado	-	2.531.966,44 €	-2.359.931,55 €	-2.183.498,76 €	-2.002.536,14 €	-1.816.907,79 €	-1.626.473,74 €	-1.431.089,82 €	-1.230.607,52 €	-1.024.873,92 €	-813.731,45 €	-597.017,86 €	-374.566,01 €	-146.203,75 €	88.246,22 €	328.966,55 €	576.145,33 €
VAN (al 5%)	-309.414,86 €																
TIR	3%																

ANEXO II: BIOMASA: ESTADO DEL ARTE



Índice

Índice de figuras.....	I-86
1. Introducción	I-87
2. Beneficios de la biomasa	I-89
2.1 Beneficios ambientales.....	I-89
2.2 Beneficios económicos.....	I-91
2.3. Beneficios sociales	I-91
3. Clasificación de la biomasa	I-92
3.1. Según el origen biológico	I-92
3.2. Según la composición química, en función del tipo de hidrato de carbono	I-93
3.3. Según su destino final	I-93
3.4. Según su contenido de humedad	I-94
4. Fuentes de biomasa	I-94
5. Situación actual	I-97
5.1 En el contexto mundial	I-97
5.2 En Europa	I-98
5.3 En España.....	I-100
5.4 En Castilla y León	I-104
6. Marco legal	I-107
6.1 Marco normativo europeo.....	I-108



6.2 Marco normativo estatal	I-113
-----------------------------------	-------



Índice de figuras

Figura II.1. Producción de energía primara con biomasa en la UE.....	I-99
Figura II.2. Distribución del consumo de energía primaria en España en 2007.....	I-101
Figura II.3.- Consumo de energías renovables en España en 2007	I-101
Figura II.4. Distribución del consumo de energía primaria en Castilla y León en 2007	I-104
Figura II.5.- Detalle del consumo de energías renovables en 2007 en Castilla y León	I-105



1. Introducción

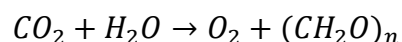
Entre las energías renovables destaca el uso de productos obtenidos a partir de materia orgánica para producir energía. Estos productos componen lo que se denomina comúnmente biomasa, cuya definición que abarca un gran grupo de materiales de diversos orígenes y con características muy diferentes. Los residuos de aprovechamientos forestales y cultivos agrícolas, residuos de podas de jardines, residuos de industrias agroforestales, cultivos con fines energéticos, combustibles líquidos derivados de productos agrícolas (los denominados biocarburantes que son tema de otra guía del IDAE), residuos de origen animal o humano, etc., todos pueden considerarse dentro de la citada definición.

Esta heterogeneidad es la principal característica de la biomasa. Conviene tener muy presente esta diversidad cuando se quiere realizar una aproximación a una energía que comienza su amplio perfil desde la definición, ya que biomasa, sin la acepción energética, es la cantidad de materia viva presente en un medio o en un organismo. La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR), utiliza la definición de la Especificación Técnica Europea CEN/TS 14588 para catalogar la biomasa como “todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”. Entre estos últimos estarían el carbón, el petróleo y el gas, cuya formación y composición hace miles de años no es comparable con lo que llamamos balance neutro de la biomasa en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). La combustión de biomasa no contribuye al aumento del efecto invernadero porque el carbono que se libera forma parte de la atmósfera actual (es el que absorben y liberan continuamente las plantas durante su crecimiento) y no del subsuelo, capturado en épocas remotas, precisamente como el gas o el petróleo.

La energía que contiene la biomasa es energía solar almacenada a través de la fotosíntesis, proceso por el cual algunos organismos vivos, como las plantas, utilizan la energía solar para convertir los compuestos inorgánicos que asimilan (como el CO₂) en compuestos orgánicos (que se



emplean para la obtención de energía) y en oxígeno (que se libera a la atmósfera), necesitando energía para llevar a cabo este proceso que procede de la radiación solar y que posteriormente se transforma en energía química siguiendo una reacción básica del tipo siguiente.



La heterogeneidad de la biomasa también se produce sobre los usos de la energía producida, pudiendo utilizarse para calefacción y producción de agua caliente en el sector doméstico (viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos, barrios o municipios enteros), calor para procesos industriales y generación de electricidad.

Dentro de los principales fuentes de biomasa destacan los orujillos (de aceite y de uva), los huesos de aceituna, las cáscaras de frutos secos (tanto agrícolas, almendra; como forestales, piñón) y por supuesto los residuos de nuestros montes y de las industrias forestales (desde cortezas hasta astillas, pasando por costeros y serrines).



2. Beneficios de la biomasa

2.1 Beneficios ambientales

El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece un amplio rango de beneficios ambientales conforme a:

- **Disminución del efecto invernadero**

Cada vez existen pruebas más convincentes de que el calentamiento observado es provocado por la intervención de los gases de efecto invernadero, es decir, por la acción humana. Principalmente cabe destacar el uso de combustibles fósiles y la deforestación, que inhibe la acción de la vegetación como sumidero de carbono.

La biomasa como medio para la generación de energía juega aquí un papel muy importante ya que puede intervenir directamente no solo en el control sino también en la disminución de la cantidad de CO₂ liberado a la atmósfera por el sector energético, siendo el sumidero sobre el que el hombre puede actuar con mayor facilidad.

Las plantas verdes, mediante el proceso fotosintético utilizan el CO₂ atmosférico para la producción de sus propios tejidos, por lo que dicho CO₂ queda temporalmente fijado. Posteriormente este CO₂ sale a la atmósfera como producto de la respiración vegetal y la descomposición de las partes muertas de las plantas. Por ello, a diferencia de los combustibles fósiles, la biomasa es un recurso renovable que presenta un balance de CO₂ nulo.

- **Lluvia ácida**

La biomasa tiene contenidos en azufre prácticamente nulos (generalmente inferiores al 0,1%). Por este motivo, las emisiones de dióxido de dióxido de azufre, que junto con las de óxidos de nitrógeno



son las causantes de la lluvia ácida, son mínimas en los procesos de transformación de biomasa forestal en energía.

- Incendios forestales

El progresivo abandono de las actividades agrosilvopastorales que se ha producido en la última mitad del siglo XX debido al éxodo rural y a la mecanización de estas labores ha provocado un incremento de la biomasa de los ecosistemas que los hace fácilmente combustibles. Parte de esa biomasa se puede utilizar para la generación de energía, reduciendo el riesgo de incendios forestales.

- Control de plagas

El abandono de residuos forestales en el monte puede favorecer la aparición de plagas que verían limitada su actividad con el aprovechamiento energético de los mismos.

- Erosión y deforestación del terreno

El aprovechamiento de biomasa sin explotar y el establecimiento de plantaciones y cultivos energéticos puede paliar el problema de la desertización que se está produciendo en el sur de Europa. En particular, los cultivos perennes, pueden ayudar a prevenir problemas de erosión al reducir el impacto de la lluvia y el transporte de sedimentos.



2.2 Beneficios económicos

- Diversificación económica, ya que el empleo de biomasa se plantea como una alternativa a la utilización de los combustibles tradicionales, lo que se traduce en una reducción de la dependencia energética con respecto a otros países, incrementando la sostenibilidad y la estimulación del crecimiento y el empleo. Asimismo, podría producirse una presión a la baja en el precio de los combustibles fósiles como consecuencia de una menor demanda.
- Modernización del tejido industrial, que se desarrolla tanto para dar servicio a la creciente demanda de nuevos productos, como para adaptarse a las nuevas tecnologías de aprovechamiento de este recurso.
- Contribución al desarrollo regional, ya que la incorporación de ayudas a la silvicultura en el desarrollo rural se convierte en un instrumento clave para la mejora de los montes y la revitalización del sector forestal.

2.3. Beneficios sociales

El consumo de biomasa forestal genera empleo, multiplicando por tres los creados por las energías tradicionales. Así, los cultivos energéticos forestales, de turnos cortos y alta densidad, además de proporcionar energía renovable, crean empleo directo, sobretodo en áreas rurales, y son una alternativa a la silvicultura y a la agricultura tradicional.

Los biocarburantes suelen crear entre 50 y 100 veces más empleo en la UE que los combustibles fósiles, la electricidad de biomasa es entre 10 y 20 veces más generadora de empleo, y la calefacción de biomasa el doble.



También hay que señalar el amplio abanico profesional que interviene en el sector, destacando las siguientes áreas:

- Investigación y desarrollo
- Construcción de plantas y montaje de equipos
- Funcionamiento de plantas
- Recogida y transporte de biomasa

3. Clasificación de la biomasa

3.1. Según el origen biológico

- *Biomasa primaria*

Se trata de toda la materia orgánica formada en la naturaleza por los seres fotosintéticos. Incluye los residuos agrícolas, los residuos forestales y los residuos de industrias agroalimentarias y/o forestales.

- *Biomasa secundaria*

Es la producida por los seres heterótrofos que utilizan la biomasa primaria como fuente de alimentación. Los materiales incluidos en este grupo son residuos biodegradables del tipo efluentes ganaderos.

- *Biomasa terciaria*

Es la generada por los seres que utilizan la biomasa primaria y secundaria para generar sus propias funciones vitales. En este grupo se incluyen materiales también biodegradables correspondientes a lodos de EDAR.



3.2. Según la composición química, en función del tipo de hidrato de carbono

Se clasificará teniendo en cuenta la fracción predominante.

- *Lignocelulósica*: predominan los compuestos como la celulosa, hemicelulosa y lignina (madera de especies forestales y herbáceas).
- *Amilácea*: el compuesto principal son los hidratos de carbono en forma de polisacáridos de reserva, tales como almidón o insulina (granos de los cereales).
- *Azucarada*: el compuesto hidrocarbonato básico es un monosacárido (glucosa o fructosa) o un disacárido (sacarosa). Ejemplos de esta biomasa son la remolacha, caña de azúcar o sorgo azucarero.

3.3. Según su destino final

- *Alcoholígena*: aquella cuyo compuesto final es el etanol o derivados, utilizados en sustitución total o parcial de las gasolinas de automoción. Ejemplos, madera forestal, paja y granos de los cereales, remolacha, etc.
- *Oleaginosa*: su compuesto final es un aceite generalmente en forma de éster para sustituir al gasóleo de automoción. Ejemplos, girasol, colza, soja, etc.
- *Lignocelulósica*: se destina para la obtención de energía eléctrica y/o térmica, como es el caso que nos ocupa. Destacan los residuos forestales, agrícolas y el cultivo de cardo.



3.4. Según su contenido de humedad

- *Seca*: en torno a un 15% de humedad. Observaremos que el rendimiento de nuestra instalación mejorará según baje la humedad.
- *Húmeda*: contenido en humedad mayor del 15%

4. Fuentes de biomasa

Las fuentes de biomasa que se pueden considerar atendiendo a su origen pueden ser:

- a) Biomasa natural: se produce en la naturaleza y actualmente es la principal base energética de los países que se encuentran en vías de desarrollo, pudiendo originar degradaciones en los ecosistemas con consecuencias tan negativas como la deforestación y la erosión de grandes superficies de terreno que lleva esto asociado, afectando negativamente al cambio climático, ya que desaparecería mucha vegetación en dichas zonas.
- b) Biomasa residual: generada en explotaciones agrarias y/o en industrias agroalimentarias. Aquí también se incluyen los residuos generados como consecuencia de la actividad humana en los núcleos de población. Los residuos, de forma general, se definen como todas aquellas materias primas que se generan en las actividades de producción, transformación y consumo, y que no han alcanzado valor económico en el contexto donde se generan.

Podemos diferenciar entre:

- *Residuos agrícolas herbáceos*: todos aquellos restos que los cultivos herbáceos en su desarrollo producen, constituidos por los restos de cosechas de cereales, de cultivos oleaginosos



como el girasol y la colza, y de cultivos para para fibra como el algodón. Por lo tanto, son residuos estacionales.

- *Residuos agrícolas leñosos*: restos de los cultivos leñosos productos en la poda. Tienen carácter estacional, y están constituidos por cultivos como los frutales de pepita, los frutales de hueso, los cítricos, los frutales de frutos secos, el olivo y la vid.
- *Residuos ganaderos*: son aquellos que se generan tanto en las explotaciones intensivas como extensivas.
- *Residuos forestales*: son todos aquellos materiales lignocelulósicos procedentes de los tratamientos silvícolas realizados para evitar incendios forestales, y de las cortas de pies maderables en montes y matorrales. Para ello, son necesarios análisis y proyectos muy detallados de la biomasa existente en la zona.
- *Residuos de industrias forestales*: la biomasa generada en este tipo de industrias puede ser de una primera transformación de la madera (aserraderos, fábricas de tableros, fábricas de pasta y papel, etc.) y de una segunda (carpintería, fábrica de muebles, etc.), siempre y cuando no posean sustancias químicas los residuos generados, ya que podría generar contaminación atmosférica.

La biomasa residual forestal será el objeto de nuestro proyecto, tanto si es proveniente de tratamientos silvícolas como si lo es de la industria maderera.

- *Residuos de industrias agroalimentarias*: todas aquellas materias primas producidas en la transformación de productos agrícolas.
- *Aguas residuales*: son producidas como consecuencia de la actividad humana en los núcleos de población (aguas residuales urbanas) y de la actividad industrial (aguas residuales industriales).
- *Residuos Sólidos Urbanos (RSU)*: comprenden un grupo de productos derivados de la limpieza particular de viviendas,



comercios y oficinas, así como los procedentes de la limpieza de las vías públicas, animales domésticos muertos, muebles y enseres, así como escombros procedentes de obras menores de construcción y reparación domiciliaria.

- c) Excedentes agrícolas: son aquellos productos obtenidos como consecuencia de un exceso de oferta en el mercado alimentario al que van dirigidos.

- d) Cultivos energéticos: son aquellas especies que, o bien son las tradicionales desarrolladas para un destino distinto al alimentario (como pueden ser la cebada, trigo, maíz, remolacha, colza, girasol, etc.) o bien son especies nuevas cuyo potencial o único destino es el energético (pataca, colza, etíope, cardo, etc.). Especies leñosas como el chopo tienen posibilidad en determinadas zonas con suficiente humedad o agua disponible.



5. Situación actual

5.1 En el contexto mundial

El desarrollo y operación de los actuales sistemas de producción y consumo necesitan grandes cantidades de energía para mantenerse. Por ello los países pobres tienen un bajo consumo de energía, mientras que el consumo energético de los países ricos es varias veces superior a los anteriores, aun cuando sus procesos sean mucho más eficientes y existan importantes campañas de concienciación para el ahorro energético. Esto significa que el desarrollo de un país implica un aumento considerable de su consumo energético. Esta situación se puede constatar en la medida que se analiza el aumento del consumo energético referenciado a los países en vías de desarrollo.

La Agencia Internacional de la Energía ha desarrollado diversos proyectos sobre biomasa a través de su división IEA Bioenergy. Esta agencia calcula que el 10% de la energía primaria mundial procede de los recursos asociados a esta fuente, incluidos los relacionados con biocombustibles líquidos y biogás. Gran parte de ese porcentaje corresponde a los países pobres y en desarrollo, donde resulta ser la materia prima más utilizada para la producción de energía, justo en aquellos países donde se prevé un mayor aumento de la demanda energética.

El Fondo de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), señala que “algunos países pobres obtienen el 90% de su energía de la leña y otros biocombustibles”. En África, Asia y Latinoamérica representa la tercera parte del consumo energético y para 2.000 millones de personas es la principal fuente de energía en el ámbito doméstico. Pero, en muchas ocasiones, esta utilización masiva no se realiza mediante un uso racional y sostenible de los recursos, sino como una búsqueda desesperada de energía que provoca la deforestación de grandes áreas, dejando indefenso al suelo frente a la erosión. La propia FAO reconoce que “la mejora del uso eficiente de los recursos de la energía de la biomasa - incluidos los residuos



agrícolas y las plantaciones de materiales energéticos - ofrece oportunidades de empleo, beneficios ambientales y una mejor infraestructura rural”. Incluso va más allá al considerar que el uso eficiente de estas fuentes de energía ayudarían a alcanzar dos de los objetivos de desarrollo del milenio: “erradicar la pobreza y el hambre y garantizar la sostenibilidad del medio ambiente”. Volviendo al principio, la biomasa podría ser el vector energético que permitiera el desarrollo de los países pobres, evitando que el aumento del consumo energético asociado a este desarrollo pusiera en peligro el medio ambiente y la seguridad de abastecimiento energético de nuestra sociedad.

Mientras esta apuesta se hace realidad, las previsiones concretas de futuro las marca, entre otros, el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, estableciendo que antes de 2100 la cuota de participación de la biomasa en la producción mundial de energía debe estar entre el 25 y el 46%.

5.2 En Europa

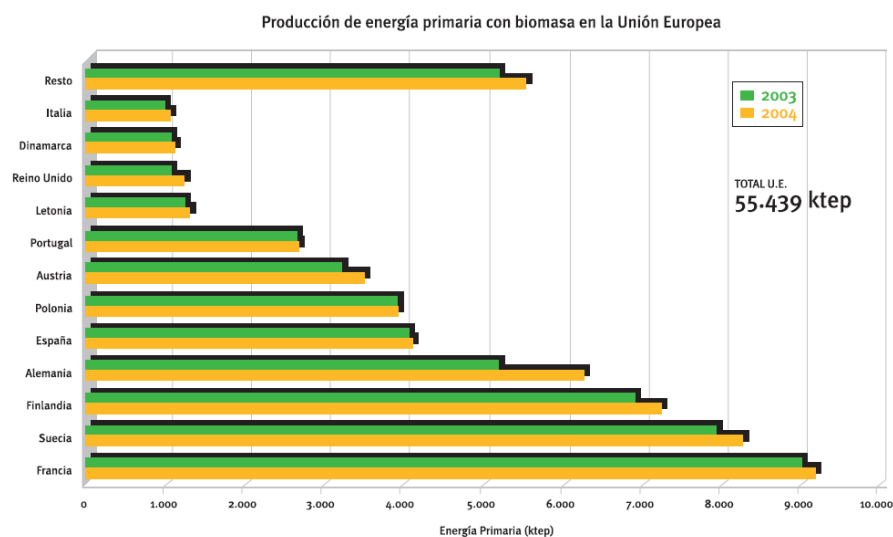
En Europa, el 54% de la energía primaria de origen renovable procede de esta fuente, sin embargo sólo supone el 4% sobre el total energético. En concreto, según los datos del observatorio europeo de las energías renovables, EurObserv'ER, en 2004 la producción de energía primaria debida a biomasa se cuantificó en 55.439 ktep. La mayoría fue destinada a la generación de calor en viviendas unifamiliares, comunidades de vecinos y en redes de calefacción centralizada. En general, en torno al 83% se destina a usos térmicos y el 17% a la producción de electricidad. Francia, con 9.180 ktep encabeza la producción, seguida por los países escandinavos, que son considerados los auténticos líderes acorde con su número de habitantes ya que, por ejemplo, Finlandia cubre con biomasa el 50% de sus necesidades de calor y el 20% del consumo de energía primaria.



Sin embargo, el ritmo actual de crecimiento de la producción con biomasa hará imposible el cumplimiento de los objetivos establecidos en el Libro Blanco de la Energías Renovables de la Unión Europea, que los fija en 100.000 ktep para 2010. Según ese ritmo actual, en dicha fecha se alcanzarán sólo 77.700 ktep. En 2004, la Comisión Europea confirmó que el desarrollo de tecnologías vinculadas a la biomasa sufría una mala coordinación de las políticas y un apoyo financiero insuficiente. Según la Comisión, sólo Dinamarca, Finlandia y el Reino Unido experimentan una curva de crecimiento importante de esta fuente de energía. Sin embargo, concluía, en la mayor parte de los nuevos Estados miembros existe un potencial importante de utilización de la biomasa para generar tanto electricidad como calor.

El diagnóstico de EurObserver apunta a que si los países más habitados del continente y con importantes recursos forestales, como Francia, Alemania, España e Italia, intensifican sus esfuerzos en esta materia se puede cumplir el objetivo. El Libro Blanco otorga a la biomasa la máxima responsabilidad en el incremento del peso de estas energías en el futuro desarrollo europeo. Si todas estas buenas intenciones se concretan, la contribución de la biomasa a finales del siglo XXI podría alcanzar la cuarta parte de la producción mundial de energía.

Figura II.1. Producción de energía primaria con biomasa en la UE



Fuente, IDAE



Aunque la disponibilidad de biomasa es abundante en Europa, el suministro aún no está organizado en muchos casos, siendo necesario promover un verdadero mercado europeo de biomasa. Los biocombustibles sólidos pioneros en este mercado europeo proceden de industrias forestales locales o de los residuos producidos en los aprovechamientos y cuidados de las masas forestales. En algunos países como Austria, Dinamarca, Alemania y Suecia, este mercado ha crecido rápidamente en los últimos años.

Además, la aparición de los pellets, con alta densidad energética que permite transportarlos grandes distancias, ha mejorado considerablemente la situación. En Suecia se produjeron 750.000 toneladas de pellets en el año 2001, mientras España sólo alcanzaba las 60.000 toneladas.

5.3 En España

En la actualidad, el consumo de energía primaria en España es de 147 Mtep cada año. Por encima del 83% se basa en fuentes de energía fósil, especialmente petróleo, mientras que el 7% es renovable.

Poco más del 20% de la energía primaria consumida es producida en España. A su vez, en términos de energía final se consumen más de 108 Mtep cada año, correspondiendo 37 a la industria, 41 al transporte y 30 a residencial, servicios y agricultura.

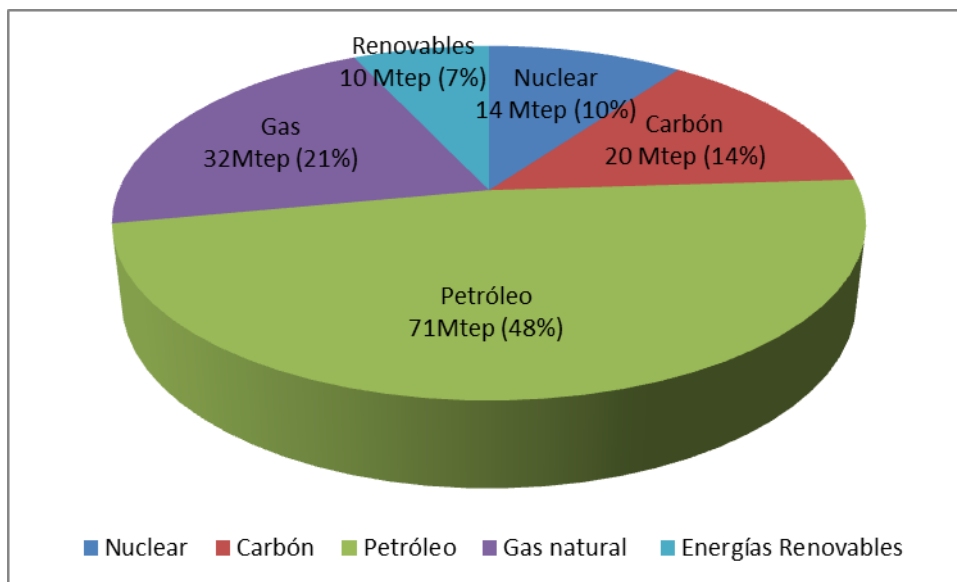
En cuanto a la evolución pasada, de manera análoga al resto de la UE, en España ha aumentado el consumo energético total y ha aumentado proporcionalmente más la aportación de las energías renovables, con desigual desarrollo en función de las tecnologías.

En consecuencia, se mantiene la dependencia con respecto a las fuentes fósiles y la moderada participación de las fuentes renovables, representadas estas en gran medida por biomasa, hidráulica y eólica.



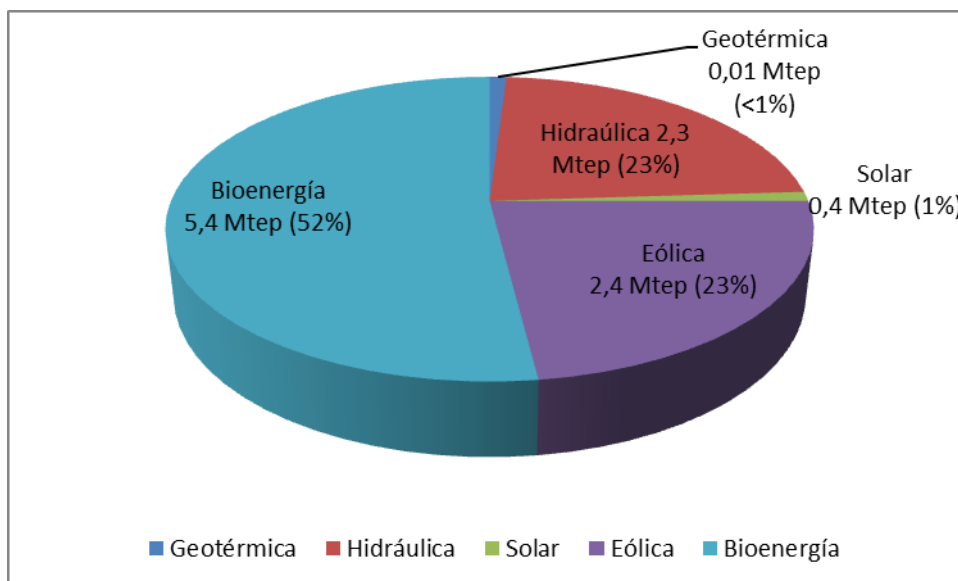
En las figuras II.2 y II.3 se presenta el consumo de energía primaria en España:

Figura II.2. Distribución del consumo de energía primaria en España en 2007



Fuente: EREN

Figura II.3.- Consumo de energías renovables en España en 2007



Fuente: EREN



En cuanto a la evolución futura, la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012, propone seis escenarios posibles y escoge aquel en el que, anualmente, el consumo total de energía primaria crece un 1,07%, la intensidad energética mejora un 1,93% y el PIB crece un 3%.

Se está trabajando en la elaboración de una Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables, con finalización prevista para antes de 2011. Además, se ha elaborado un nuevo PER 2011-2020 y ya ha remitido el PANER 2011-2020 a la Comisión Europea, pero debido a la situación económica las expectativas marcadas se antojan casi irrealizables.

El petróleo seguirá siendo el combustible más importante, manteniendo el porcentaje con respecto al consumo total. El carbón disminuirá parcialmente, la energía nuclear se mantendrá y el gas natural y las energías renovables aumentarán sensiblemente.

En general, las fuentes fósiles mantendrán una contribución cercana al 80% del consumo.

Para complementar el análisis anterior, se presenta el valor actual y la tendencia de tres indicadores para España:

- Intensidad de energía primaria: 179 tep/M€ en 2007, con tendencia creciente hasta 2004 y decreciente desde entonces.
- Consumo de energía primaria por habitante: 3,3 tep/habitante en 2007, con tendencia creciente.
- Emisión de GEI: 3,0 t/tep y 9,9 t/habitante en 2007, con tendencia decreciente.

Al observar las energías renovables, y especialmente la bioenergía, con respecto al sistema energético español, se obtienen conclusiones relevantes que se expresan a continuación.



En la actualidad, la contribución renovable al consumo total de electricidad se encuentra en un 24,7%, correspondiendo en gran medida a hidráulica y eólica. A su vez, el 75,3% se obtiene de carbón, gas y nuclear.

En 2007, la producción de energía primaria mediante biomasa sólida en España fue de 4,3 Mtep.

La producción de energía eléctrica con biomasa fue 1,73 TWh, normalmente en instalaciones específicas de biomasa y con tamaño relativamente grande. En ocasiones también se realiza cogeneración para aprovechamiento de calor en la industria.

El aprovechamiento de biogás, tradicionalmente ligado a la biomasa urbana, comienza a explotar fuentes de biomasa potenciales como la biomasa ganadera o la agroalimentaria. En 2007 la producción de energía primaria fue de 0,4 Mtep y la producción de electricidad fue de 0,6 TWh.

La contribución de biocarburantes al consumo total en transporte en 2007 fue de un 1,1%, correspondiendo el resto a fuentes fósiles.

En cuanto a los objetivos actualmente propuestos desde el Gobierno de España para energías renovables, y más concretamente para bioenergía, estos son los principales:

- Contribución renovable al consumo total de energía primaria: 12,1% en 2010.
- Contribución renovable al consumo total de electricidad: 30,3% en 2010.
- Contribución de biocarburantes al consumo total en transporte: 5,83% en 2010.
- Consumo de energía primaria de biomasa para usos eléctricos: 5,6 Mtep en 2010.
- Consumo de energía primaria de biomasa para usos térmicos: 4,1 Mtep en 2010.
- Consumo de energía primaria de biomasa para usos en transporte: 2,2 Mtep en 2010.



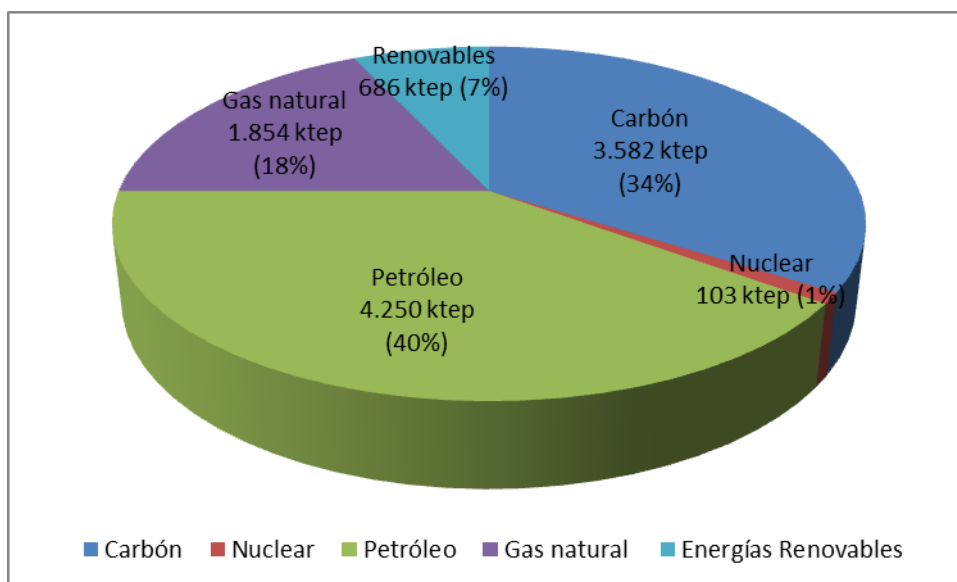
- Reducción de emisión de GEI: 20% en 2020 con respecto a 1990.

5.4 En Castilla y León

En la actualidad, el consumo de energía primaria en Castilla y León es cercano a 10,5 Mtep cada año. Más del 90% se basa en fuentes fósiles, especialmente carbón y petróleo, mientras que el 7% es renovable. El porcentaje de fuentes fósiles es debido al uso de carbón en centrales térmicas y de petróleo en transporte.

Las Figuras II.5 y II.6 representan el consumo de energía primaria en Castilla y León.

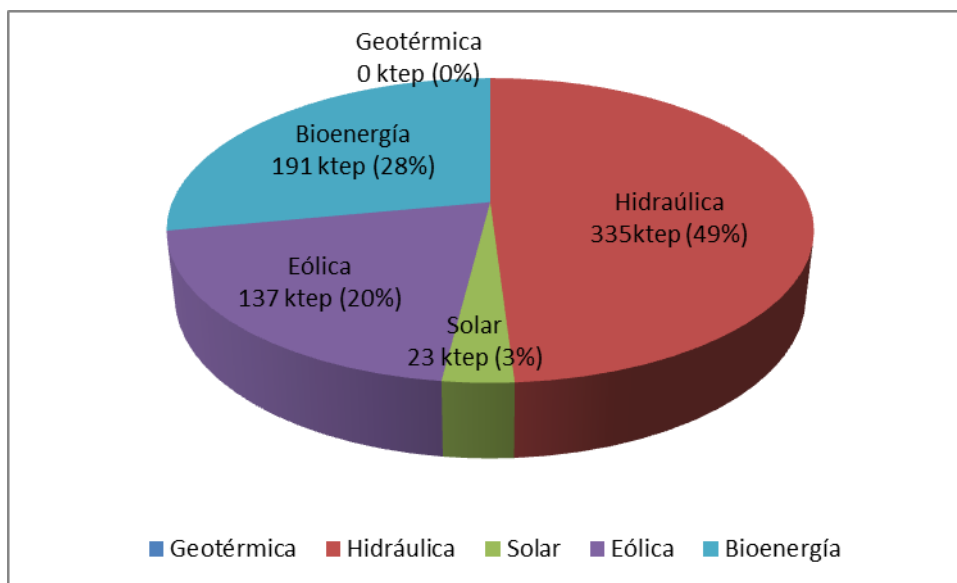
Figura II.4. Distribución del consumo de energía primaria en Castilla y León en 2007



Fuente: EREN



Figura II.5.- Detalle del consumo de energías renovables en 2007 en Castilla y León



Fuente: EREN

Si bien puede parecer que la situación de Castilla y León es similar a la de España, conviene realizar una breve comparación entre los dos espacios para detectar similitudes y diferencias.

Por un lado, ambos territorios dependen de combustibles fósiles, pero mientras que en España la situación es general para todos sus tipos y usos finales, en Castilla y León se importa fundamentalmente petróleo para transporte y gas para calor doméstico e industrial.

Por otro lado, la producción y consumo de energía primaria están más equilibrados en Castilla y León que en España, gracias a la mayor disponibilidad de carbón, hidráulica y eólica. A su vez, Castilla y León es considerada como productora de ciertas fuentes de energía para su consumo y venta dentro y fuera de la Comunidad.

En Castilla y León la energía primaria producida es cercana a 5 Mtep cada año, procediendo principalmente de carbón, nuclear e hidráulica. A su vez, en términos de energía final se consumen 7,3 Mtep cada año,



correspondiendo 2,0 a la industria, 2,8 al transporte y 2,5 a residencial, servicios y agricultura.

En cuanto a la evolución pasada, de manera análoga al resto de la UE, en Castilla y León ha aumentado el consumo energético total y ha aumentado proporcionalmente más la aportación de las energías renovables, con desigual desarrollo en función de las tecnologías.

En consecuencia, se mantiene tanto la dependencia con respecto a las fuentes fósiles para usos térmicos y de transporte, no para los eléctricos; como la moderada participación de las fuentes renovables, representadas estas en gran medida por hidráulica, bioenergía y eólica.

En cuanto a la evolución futura, se prevé seguir incrementando la aportación de las renovables, así como el moderado incremento del consumo total.

Para complementar el análisis, se presenta el valor actual y la tendencia de tres indicadores para Castilla y León:

- Intensidad de energía primaria: 186 tep/M€ en 2007
- Consumo de energía primaria por habitante: 4,1 tep/habitante en 2007
- Emisión de GEI: 2,5 t/tep y 9,2 t/habitante en 2006

Al observar las energías renovables, y especialmente la bioenergía, con respecto al sistema energético castellano y leonés, se obtienen conclusiones relevantes que se expresan a continuación.

En la actualidad, la contribución renovable al consumo total de electricidad se encuentra en un 43,4%, correspondiendo en gran medida a hidráulica y eólica. A su vez, el 56,6% se obtiene de carbón y nuclear.

En 2007, la producción de energía primaria mediante biomasa sólida en Castilla y León fue de 224 ktep. Los tipos de recursos principales son biomasa forestal y de sus industrias.



La producción de energía eléctrica con biomasa fue de 160 GWh, normalmente en instalaciones específicas para biomasa sólida o para biogás, que suelen incorporar cogeneración para aprovechamiento de calor.

La contribución de biocarburantes al consumo total en transporte en 2007 fue de un 0,62%, principalmente mediante biodiésel, correspondiendo el resto a fuentes fósiles.

En cuanto a los objetivos actualmente propuestos desde la Junta de Castilla y León para energías renovables, estos son consonantes con los establecidos por la UE y España; y más concretamente, en cuanto a los objetivos para bioenergía, estos son tratados en un capítulo específico de este documento.

Por último, indicar que FAO instituyó la Plataforma Internacional de Bioenergía, IBEP; a finales de 2006; y desde ella se propuso a Castilla y León el desarrollo de la herramienta de análisis Woodfuel Integrated Supply-Demand Overview Mapping, WISDOM, bajo la cual se está estudiando en detalle el potencial de recursos de origen biomásico de Castilla y León, así como sus posibles flujos hacia un uso energético, utilizando criterios tanto internacionales como específicos de la Comunidad Autónoma.

6. Marco legal

El sistema de apoyo a la generación de electricidad a partir de energías renovables, en instalaciones conectadas al sistema eléctrico está fundamentado sobre dos pilares:

- Un marco jurídico que prioriza el aprovechamiento de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables.
- Un marco económico estable y predecible que incentiva la generación a partir de tales recursos, al tiempo que permite



que las inversiones asociadas obtengan unas tasas razonables de rentabilidad.

En este contexto, las primas a la generación en régimen especial tienen la consideración de costes de diversificación, seguridad de abastecimiento y beneficios medioambientales, y se incluyen en la estructura tarifaria junto con el resto de las actividades del sistema.

6.1 Marco normativo europeo

Se hace una breve reseña de la legislación europea aplicable al aprovechamiento de la biomasa forestal y utilización y empuje de la biomasa en general como fuente de energía renovable:

Resolución del Consejo (1999/C 56/01) de 15 de diciembre de 1998 relativa a la Estrategia de la Unión Europea para el sector forestal.

Abre nuevas perspectivas para una política forestal global e integrada. En particular, se afianzan los principios de multifuncionalidad de los bosques, inclusión del sector en las normas de la economía de mercado y ejecución lo más descentralizada posible, en aplicación del principio de subsidiariedad.

Establece que la Comisión tendrá que presentar al Consejo un informe relativo al establecimiento de la estrategia forestal en un plazo de cinco años, que se materializa en la Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo el 10 de marzo de 2005 denominado *“Informe sobre la ejecución de la estrategia forestal de la Unión Europea”*.

Para elaborar una estrategia de gestión sostenible de los bosques que sea eficaz, la Comisión considera necesario:

- i. Conciliar un tipo de gestión social y ecológicamente beneficioso para los bosques con la observación de que los



ingresos de los propietarios europeos proceden en gran parte de la venta de madera.

ii. Reforzar la armonización de las distintas políticas de la UE que inciden en los bosques y la actividad forestal y mejorar la coordinación entre la Comisión y los Estados miembros.

iii. Revisar y consolidar las estructuras de consulta en materia de silvicultura para facilitar la transparencia en la toma de decisiones y un diálogo estructurado con todas las partes interesadas.

iv. Reconocer la importancia global de los bosques en el desarrollo sostenible, incluso desde el punto de vista del cambio climático y la biodiversidad, y apoyar los compromisos internacionales.

Reglamento (CE) N° 1257/1999 del Consejo de 17 de mayo de 1999 sobre la ayuda al desarrollo rural a cargo del Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agrícola (FEOGA).

En el artículo 2 se menciona que *“las ayudas que se centrarán en las actividades agrarias y en su reconversión, podrán tener por objeto (...) el desarrollo sostenible de los bosques”*.

En el artículo 29 se detalla que *“la ayuda a la silvicultura contribuirá al mantenimiento y al desarrollo de las funciones económicas, ecológicas y sociales de los bosques en las zonas rurales” (...)* *“esta ayuda fomentará particularmente (...) la gestión forestal sostenible y el desarrollo sostenible de la silvicultura, el mantenimiento y mejora de los recursos forestales y el aumento de las superficies forestales”*

En el artículo 30 se menciona que las ayudas se destinarán entre otras a las actuaciones siguientes: *“el fomento de nuevas*



salidas para el uso y comercialización de los productos forestales, inversiones destinadas a mejorar y racionalizar la recolección, transformación y comercialización de los productos forestales”.

Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 7 de septiembre de 2001 relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad.

La Comunidad reconoce la necesidad de promover las fuentes de energía renovables con carácter prioritario, ya que su explotación contribuye a la protección medioambiental, al desarrollo sostenible, puede ser fuente de empleo local y hacer posible que se cumplan los objetivos de Kioto.

Esta Directiva constituye el marco legislativo europeo para la generación de electricidad a partir de biomasa. Se establecen valores de referencia para el establecimiento de los objetivos indicativos nacionales en materia de electricidad generada a partir de energías renovables.

Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 8 de mayo de 2003 relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables en el transporte.

El Consejo determina que existe una amplia gama de biomasa que podría utilizarse en la producción de biocarburantes derivada de la silvicultura y de la industria agroalimentaria y forestal.

Reglamento (CE) N° 1782/2003 del Consejo de 29 de septiembre de 2003 por el que se establecen disposiciones comunes aplicables a los



regímenes de ayuda directa en el marco de la política agraria común y se instauran determinados regímenes de ayuda a los agricultores (...).

Se recoge el grueso de la última reforma de la PAC y se incluye por vez primera una línea de ayudas encaminada al desarrollo de cultivos energéticos. Estas ayudas se desarrollan especialmente en el Reglamento (CE) nº 2237/2003 de la Comisión, de 23 de diciembre de 2003 y el Reglamento (CE) nº 1973/2004, de la Comisión, de 29 de octubre de 2004.

“Se concederá una ayuda de 45 euros por hectárea y por año a las superficies sembradas con cultivos energéticos con arreglo a las condiciones establecidas en el capítulo 5 del Reglamento (CE) Nº 1782/2003”.

Reglamento (CE) Nº 1698/2005 del Consejo de 20 de septiembre de 2005 relativo a la ayuda al desarrollo rural a través del Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural (FEADER).

Determina que es preciso fomentar la transformación de los productos agrícolas y forestales con vistas a la producción de energía renovable. Establece las normas generales que regulan la ayuda comunitaria al desarrollo rural financiada por el FEADER.

Libro Verde de la Comisión: Estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético.

El objetivo principal es garantizar, para el bienestar de los ciudadanos y el buen funcionamiento de la economía, la disponibilidad física y constante de los productos energéticos en el mercado a un precio asequible para todos los consumidores, teniendo



en cuenta las preocupaciones ecológicas y con la perspectiva de lograr un desarrollo sostenible.

Libro Blanco

Se fija como objetivo alcanzar en 2010 una penetración mínima del 12% de las fuentes de energía renovables en la Unión Europea. Este Libro Blanco es el resultado de los debates suscitados por el Libro Verde presentado por la Comisión en noviembre de 1996. Establece un aumento de 57 Mtep/año el consumo de biomasa en la Unión europea para el año 2010.

El objetivo global fijado por la Unión exige una fuerte implicación de los Estados miembros, que deberán estimular la expansión de las fuentes de energía renovables en función de su propio potencial. Asimismo se confía en:

- i. La creación de 500 a 900.000 empleos;
- ii. Un ahorro anual de gastos de combustible;
- iii. Una reducción de las importaciones de combustible del 17,4%;
- iv. Una reducción de las emisiones de CO₂ de 402 millones de toneladas anuales en 2010.

Plan de Acción sobre la Biomasa.

El plan de acción se propone sensibilizar en mayor medida a los responsables de los distintos programas e intensificar la presencia de las energías renovables en las distintas políticas de la Unión, como; medio ambiente, empleo, competencia y ayudas estatales,



investigación y desarrollo tecnológico, política regional, política agrícola común y desarrollo rural.

En opinión de la Comisión, las medidas del Plan de Acción podrían producir un incremento en el uso de la biomasa de cerca de 150 Mtep en 2010.

6.2 Marco normativo estatal

Ley 54/1997 del Sector Eléctrico, de 27 de noviembre, cuyo objetivo principal es regular las actividades destinadas al suministro de energía eléctrica, integro el Régimen Especial, anteriormente regulado en el RD 2366/94, para la generación eléctrica con energías renovables, de potencia inferior a 50 MW, de carácter voluntario, otorgando competencias a las comunidades autónomas para su autorización. La Ley también garantizó el acceso a la red de las instalaciones en el régimen especial, e introdujo las bases en materia de régimen económico y de producción que se desarrollaron posteriormente con sucesivos reales decretos (Reales Decretos 2818/1998, de 23 de diciembre, 436/2004, de 12 de marzo y 661/2007, de 25 de mayo). Igualmente, la Ley otorgó competencias a cada comunidad autónoma en el desarrollo legislativo y reglamentario y en la ejecución de la normativa básica del Estado en materia eléctrica. En síntesis, con esta legislación, los productores de electricidad procedente de energías renovables tienen garantizado el acceso a la red, y las condiciones técnicas y económicas entre productores y distribuidores están claramente definidas.



Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, rige los procedimientos de autorización de instalaciones de producción, y redes eléctricas de transporte y distribución, cuando su aprovechamiento afecte a más de una comunidad autónoma, o cuando la potencia eléctrica a instalar supere los 50 MW, o cuando el transporte o distribución salga del ámbito territorial de una de ellas. En este caso, el organismo competente es la Dirección General de Política Energética y Minas, del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión junto a sus instrucciones técnicas complementarias (ITC) BT 01 a BT 51, que resulta de aplicación a todas las instalaciones generadoras de energías renovables conectadas en baja tensión.

Ley 22/1973, de 21 de julio, de Minas (modificada por la Ley 54/1980, de 5 de noviembre), regula el aprovechamiento de recursos geotérmicos. La autorización de los aprovechamientos geotérmicos de alta entalpía (generación de electricidad y/o usos directos) se rige por el régimen concesional de los recursos de la “sección D” establecido en la legislación minera. En este caso, la competencia en el desarrollo legislativo y la ejecución de la legislación básica del Estado en materia de Régimen Minero es de las comunidades autónomas.

Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, desarrolla la Ley 54/1997 del Sector eléctrico, y establece el régimen jurídico y económico de las instalaciones generadoras de energía



eléctrica de cogeneración y aquellas que utilicen como materia prima energías renovables y residuos, con el objetivo fundamental de establecer un sistema estable y predecible que garantice una adecuada rentabilidad a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Real Decreto 1028/2007, de 20 de julio, que racionaliza el procedimiento para la implantación de instalaciones marinas de generación, de competencia estatal, salvaguardando los espacios donde vayan a instalarse frente a posibles impactos medioambientales, teniendo en cuenta la ausencia de experiencias en el mar. Igualmente, recoge la normativa nacional de aplicación, y la integra en un solo procedimiento administrativo que oriente a la iniciativa privada.

Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, el cual define un nuevo régimen económico para las instalaciones fotovoltaicas, además de la creación de un Registro de preasignación de retribución para esta tecnología (PREFO), que afecta a las instalaciones que se inscriban definitivamente en el Registro administrativo de instalaciones de producción en régimen especial (RIPRE) a partir de septiembre de 2008. Este nuevo marco se basa en un sistema de cupos crecientes y tarifas decrecientes.

Real Decreto-Ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se establece el registro de preasignación de retribución para las instalaciones del régimen especial, el cual fija las condiciones para el acceso a dicho registro que es requisito necesario para obtener el derecho a la percepción del régimen económico establecido en el Real Decreto 661/2007, así mismo procede a la ordenación de los



proyectos e instalaciones presentados al procedimiento de preasignación considerando, en primer lugar, aquellos cuya solicitud y aval fue presentado en los plazos previstos en la disposición transitoria cuarta del Real Decreto-Ley 6/2009, de 30 de abril, y atendiendo a un criterio cronológico en función de la fecha en la que les fue otorgada la autorización administrativa, Estableciendo los plazos de entrada en funcionamiento de las plantas de tecnología eólica y solar termoeléctrica. Como desarrollo del Real Decreto-Ley 6/2009, el 24 de noviembre del 2009 se publicó la Resolución de 19 de noviembre de 2009, por la que se procede a la ordenación de los proyectos o instalaciones presentados al registro administrativo de preasignación de retribución para las instalaciones de producción de energía eléctrica, estableciéndose las fases de puesta en funcionamiento de las plantas de tecnología eólica y solar termoeléctrica.

Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. Se establecen los requisitos técnicos para determinar la consideración de modificación sustancial de instalaciones de producción de energía eléctrica con cogeneración y con energía eólica. También modifica el régimen de retribución de la energía reactiva, así como fija las condiciones para instalaciones experimentales de tecnología eólica y en su disposición adicional tercera, establece la posibilidad de conceder el derecho a una retribución adicional a la retribución del mercado de producción para proyectos de instalaciones de producción de energía eléctrica de tecnología solar termoeléctrica, de carácter innovador, mediante un procedimiento de concurso hasta un máximo de 80 MW.



Real Decreto 1614/2010, de 7 de diciembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica a partir de tecnologías solar termoeléctrica y eólica. Este decreto establece un límite de horas equivalentes de funcionamiento con derecho a prima equivalente o prima, así como una disminución de la prima para instalaciones eólicas.

Real Decreto-Ley 14/2010, de 23 de diciembre, por el que se establecen medidas urgentes para la corrección del déficit tarifario del sector eléctrico. Esta reglamentación limita las horas equivalentes de funcionamiento de las instalaciones fotovoltaicas con derecho al régimen económico primado. Se establecen dos limitaciones, una temporal hasta el 31 de diciembre de 2013 para las instalaciones acogidas al régimen económico del Real Decreto 661/2007, y otra permanente para el resto de instalaciones acogidas al régimen económico del Real Decreto 1578/2008 y para las instalaciones en el ámbito del Real Decreto 661/2007 desde el 1 de enero de 2014.

Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible, que incorpora algunos de los elementos de los marcos de apoyo a las energías renovables que deben estar presentes para garantizar la sostenibilidad de su crecimiento futuro, como son: estabilidad, flexibilidad, progresiva internalización de los costes y priorización en la incorporación de aquellas instalaciones que incorporen innovaciones tecnológicas que optimicen la eficiencia de la producción, el transporte y la distribución, y que aporten una mayor gestionabilidad reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero, garantizando la suficiencia y estabilidad en el suministro energético.



Real Decreto 1/2012, de 27 de enero, (modifica al RD 661/2007) por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos.

ANEXO III : APROVECHAMIENTO DE BIOMASA



Índice

Índice de tablas.....	I-122
Índice de figuras.....	I-123
1. Tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa.....	I-124
2. Factores limitantes.....	I-127
3. Tecnologías aplicables	I-129
3.1 Clareo.....	I-130
3.2 Claras o resalveos.....	I-133
3.3 Últimas claras y cortas finales en terreno suave	I-135
3.4 Últimas claras y cortas finales en pendiente	I-137
4. Tecnología del proceso	I-139
5. Costes biomasa	I-142
6. Biomasa disponible.....	I-143
6.1. Recursos biomásicos aprovechables de origen forestal	I-144
6.2. Cuantificación de la biomasa disponible procedente de los residuos de las industrias de primera transformación.....	I-149
7. Análisis de la biomasa utilizada	I-152
7.1. Análisis inmediato	I-152
7.2. Análisis elemental	I-153
7.3. Poder calorífico	I-154
7.4. Otras características	I-155



8. Secado biomasa	I-156
8.1 Secado natural	I-157
8.2. Secado forzado	I-161
8.1.1 Balance de materia	I-163
8.1.2 Balance de energía	I-164



Índice de tablas

Tabla III.1. Costes manipulación para pino	I-142
Tabla III.2. Biomasa parte burgalesa comarca de Pinares	I-148
Tabla III.3. Producción anual de subproductos en la provincia de Burgos.....	I-150
Tabla III.4. Subproductos procedentes de industrias por municipio	I-151



Índice de figuras

Figura III.1. Esquema de los posibles sistemas logísticos en clareos.....	I-132
Figura III.2 . Costes de transporte en montes de acceso apto para camiones con remolque	I-139
Figura III.3. Fases de aprovechamiento de la biomasa	I-141
Figura III.4. Terrenos de coníferas de Castilla y León	I-143
Figura III.5. Biomasa de la vecindad (30 km).....	I-149
Figura III.6. Concentración de empresas madereras en la provincia de Burgos	I-150
Figura III.7. Dinámica de secado	I-160



1. Tecnologías para el aprovechamiento de la biomasa

Los residuos forestales que se van a utilizar como combustible, se generan en las operaciones silvícolas y aprovechamientos madereros realizador directamente en el medio forestal y no son extraídos habitualmente, por no ser convertibles en subproductos, pero que pueden ser utilizados como combustible orgánico.

Las actuaciones en las que se forman los residuos forestales se planifican previamente, siendo necesarias para la sostenibilidad del espacio forestal. Estas actuaciones o actividades forestales son:

- Los tratamientos silvícolas para mejora de las masas forestales, tales como clareos, podas, selección de rebrotes, etc.
- Cortas finales de pies maderables. En éstas se producen cantidad de residuos compuestos por copas, ramas, despuntes, hojas y acículas.
- Prevención de incendios. Para ellos se realiza limpieza en el monte, cortafuegos, limpieza de matorrales, etc.

En el aprovechamiento de la biomasa forestal residual se distinguen las siguientes fases, una vez realizados los trabajos silvícolas que dan lugar a los residuos:

- Recogida y apilado del residuo forestal.
- Acondicionamiento del residuo para su transporte.
- Transporte y almacenamiento.

La situación de los residuos para su recolección o recogida depende básicamente del tipo o tipos de trabajos silvícolas que se han realizado (podas, clareos, selección de rebrotes, limpieza, etc.) y de los medios y maquinaria que se han empleado. Asimismo, los medios de corta dependen no sólo de las labores realizadas sino también del tipo de vegetación existente, accesibilidad y pendiente del terreno. Las máquinas más utilizadas son procesadoras y motosierras manuales.



En la mayor parte de los casos los residuos quedarán de forma dispersa. Para optimizar la recogida de estos restos se hace necesaria la integración de las operaciones de recolección y concentración de los residuos.

Los objetivos propuestos en estas actuaciones son:

- Incrementar la calidad y/o la cantidad de la producción, ya sea de madera, de fruto (castaña, piñón), de hongos o de otros productos que se obtienen del bosque.
- Disminuir el riesgo de incendios y facilitar la defensa frente a los mismos.
- Garantizar la conservación de los recursos genéticos.
- Fomentar la diversidad biológica.
- Conservar y mejorar el hábitat para la fauna.
- Fomentar el uso público del monte.
- Contribuir a la conservación y mejora del paisaje.
- Compatibilizar, en la medida de lo posible, los aprovechamientos silvícolas y pascícolas del monte.

Normalmente, las actuaciones silvícolas no responden simultáneamente a todos estos objetivos sino que atienden de forma prioritaria a dos o tres de ellos. No obstante, los demás objetivos expuestos subyacen siempre como criterios transversales en la gestión forestal. En particular hay una máxima universal a la que está supeditada toda la gestión forestal y es la de la sostenibilidad: todos los aprovechamientos forestales deben llevarse a cabo de forma que quede siempre asegurada la persistencia de los recursos.

Para alcanzar los citados objetivos se considera necesario disponer de una buena diagnosis de la situación actual, especialmente en lo que se refiere a la estimación de las superficies y estado de conservación de las distintas masas arboladas de Castilla y León. Todo ello permite una adecuada planificación de las intervenciones silvícolas que se traduce en una distribución racional de la inversión de la Consejería de Medio



Ambiente. Dicha inversión afecta no sólo a las masas forestales gestionadas por la propia Consejería (montes de Utilidad Pública, montes repoblados mediante consorcios o convenios con la administración y montes propios), sino también a las masas forestales que podemos calificar como de gestión privada (tanto de particulares como de ayuntamientos y juntas vecinales, de libre disposición). La planificación también busca un equilibrio territorial de las inversiones y una atención ponderada a los distintos tipos de bosque.

La coordinación y mejora técnica en la ejecución de las intervenciones silvícolas también son objeto de este programa. Para ello se propone normalizar las condiciones técnico-facultativas y los criterios de evaluación de las labores silvícolas con objeto de mejorar la calidad técnica de las intervenciones, y crear un medio de trabajo homogéneo y operativo para las empresas de trabajos forestales. Todo ello facilitará la relación entre la administración y las empresas de trabajos silvícolas.

Como ocurre en todo ejercicio de planificación se considera imprescindible coordinar los distintos niveles complementarios de la planificación regional, que deben atender adecuadamente a la casuística de cada comarca o de cada monte. En este sentido se propone impulsar tanto los planes comarcales de claras como los proyectos de ordenación y planes dasocráticos.

Los aspectos más técnicos de la gestión de nuestras masas arboladas, comentados hasta el momento, requieren dos labores complementarias como son:

La extensión (divulgación y formación) entre agentes implicados en la conservación y mejora de los bosques y en la sociedad en conjunto.

La investigación y desarrollo técnico, con el objeto de conseguir un cuerpo de conocimientos teóricos que fundamente la selvicultura regional, así como la actualización de las informaciones disponibles en esta materia, incorporando siempre los avances técnicos y los cambios sociales que se suceden en el sector.



2. Factores limitantes

La ejecución de las intervenciones silvícolas se ve condicionada por ciertos factores limitantes que no siempre están estrictamente relacionados con los aspectos técnicos de estas actividades:

- La orografía, al condicionar la movilidad y la viabilidad técnica y económica de los tratamientos silvícolas.□
- La ausencia de beneficios directos a corto plazo de las labores culturales (clareos, podas, desbroces, etc.) que, además, tienen un coste muy elevado. Se trata de labores poco mecanizadas que, en las masas más jóvenes, no se compensan con el valor de mercado de los productos extraídos (leña y madera de pequeñas dimensiones). Por esta razón, es conveniente que la administración subvencione en parte las intervenciones silvícolas no autofinanciables, que incentive las rentables por sí mismas y fomente una mayor tecnificación de las empresas de trabajos forestales.
- En los montes gestionados por la Consejería de Medio Ambiente, las limitaciones presupuestarias impiden abordar todos los cuidados culturales que sería deseable llevar a cabo. Por lo tanto es necesario establecer un orden de prioridades en las intervenciones silvícolas.
- La falta de un ritmo sostenido en las intervenciones silvícolas limita las inversiones empresariales en maquinaria y formación técnica de su personal, sin las cuales no es posible llevar a cabo una selvicultura racional y moderna.
- Otro factor limitante relacionado con el anterior es el relativo a la mano de obra: en las áreas rurales de montaña hay cada vez menos disponibilidad de mano de obra y, además, no cuenta con la necesaria especialización en trabajos silvícolas.
- La ganadería, debido al uso del fuego para la obtención de pastizales y a la incidencia directa sobre la vegetación, impidiendo la regeneración del estrato arbóreo. Por ello, debe procederse a una adecuada coordinación entre los sectores implicados, que garantice la compatibilidad de los distintos usos del territorio, evitando el



conflicto entre las cortas de regeneración y el aprovechamiento pascícola.

- La propiedad es un condicionante de la conservación y mejora de los bosques. La falta de beneficios directos de muchos montes no incentiva la inversión en ellos por parte de sus titulares. Por lo tanto, en el caso de los montes no gestionados por la Consejería de Medio Ambiente (montes de entidades locales de libre disposición y montes de particulares) son necesarias ayudas por parte de la administración y una fiscalidad favorable. Si los bosques se consideran patrimonio de toda la sociedad, ésta debe compensar a sus propietarios en forma de subvenciones para el mantenimiento y mejora de los montes.
- La selección negativa del arbolado, debido a que durante mucho tiempo se ha cortado sin criterios técnicos adecuados, ante las necesidades de las poblaciones rurales (sobre todo en masas de frondosas). En estos casos, es necesario un esfuerzo para difundir entre la población rural criterios técnicos que garanticen un buen desarrollo de los bosques y no fomenten su degradación.
- La acusada falta de divulgación a la sociedad de los objetivos y fundamentos técnicos de las distintas intervenciones silvícolas, al objeto de que la sociedad valore positivamente la gestión forestal.
- Faltan herramientas silvícolas necesarias para una adecuada gestión de los bosques (tablas de producción, normas silvícolas, prescripciones silvícolas, etc.). La planificación de la selvicultura requiere, además, una adecuada inventariación y cartografía de las masas forestales. Además falta experiencia en cortas de mejora y regeneración de algunas de nuestras masas forestales.



3. Tecnologías aplicables

Los distintos itinerarios silvícolas definidos en el apartado anterior para cada especie e incluso tipo de propiedad de terreno, llevan asociados una serie de tratamientos o intervenciones. Los principales tratamientos propuestos en los itinerarios son:

- Entresaca.
- Clareo.
- 1ª clara.
- 2ª clara.
- Aclareo.
- Corta final.
- Resalveo.

Del mismo modo, cada tratamiento conlleva distintos trabajos (en adelante procesos) hasta la obtención de un producto homogéneo a pie de central o centro de almacenamiento. Dichos trabajos o procesos presentan distintas posibilidades de ser realizados ya sea manual o de forma mecanizada; en este último caso se pueden llevar a cabo mediante maquinaria diferente. El conjunto de procesos y maquinaria asociada conforma lo que se denomina Sistema Logístico.

Así pues, un sistema logístico define la serie de procesos (apeo, reunión, saca, adecuación y transporte) y maquinaria asociada (motosierra o multitaladora, peón o tractor recogedor, tractor agrícola o autocargador, empacadora, astilladora o trituradora y camión rígido, tráiler, camión con remolque o piso móvil) para la obtención de un producto final previamente definido a pie de central o parque de almacenamiento. De modo que un sistema logístico será diferente a otro según los procesos que compongan y la maquinaria con la que se lleve a cabo. Por ejemplo, el proceso de reunión puede ser necesario o no, y a su vez se puede realizar manual o mecanizadamente.

La elección de distintos sistemas logísticos permite comparar para un mismo ámbito territorial el coste de obtención del producto deseado según



diferentes procesos. En cualquier caso, las características finales del producto de cada sistema logístico deberán quedar claramente establecidas para poder comparar entre sí los distintos sistemas logísticos propuestos, de modo que si el material es transportado en bruto, empacado o triturado en cargadero debe sufrir un tratamiento en central distinto.

Los posibles sistemas logísticos (procesos y maquinaria) de cada tipo de tratamiento o intervención son los siguientes:

3.1 Clareo

Esta intervención se lleva a cabo en masas regulares de coníferas a turno medio o largo para madera, y frondosas de turno largo o muy largo para madera, generalmente en terrenos con pendiente máxima de aprovechamiento del 30%.

Es un sistema que cada vez se aplica menos, como consecuencia del elevado coste de intervención y actualmente se lleva a cabo debido a factores medioambientales más que productivos.

Cuando se lleva a cabo, el sistema más usual es el manual, con motosierra y reunión manual en calles situadas cada 20 m. Menos usual, pero también posible, es el sistema semimecanizado, pues en las calles situadas cada 20 metros, el apeo y reunión se realiza mediante una procesadora multitaladora que corta “a hecho” toda la calle de 3 a 3,5 m de anchura la zona entre calles; tanto el apeo como la reunión a la zona de calles se realiza manualmente. En este caso de sistema mecanizado se puede estimar que el 80% del apeo se realizará manualmente y el 20% restante de forma mecanizada.

La saca a cargadero de los árboles enteros se realiza mediante tractor autocargador (agrícola o forestal). Una vez en cargadero, se presentan cuatro opciones de actuación:



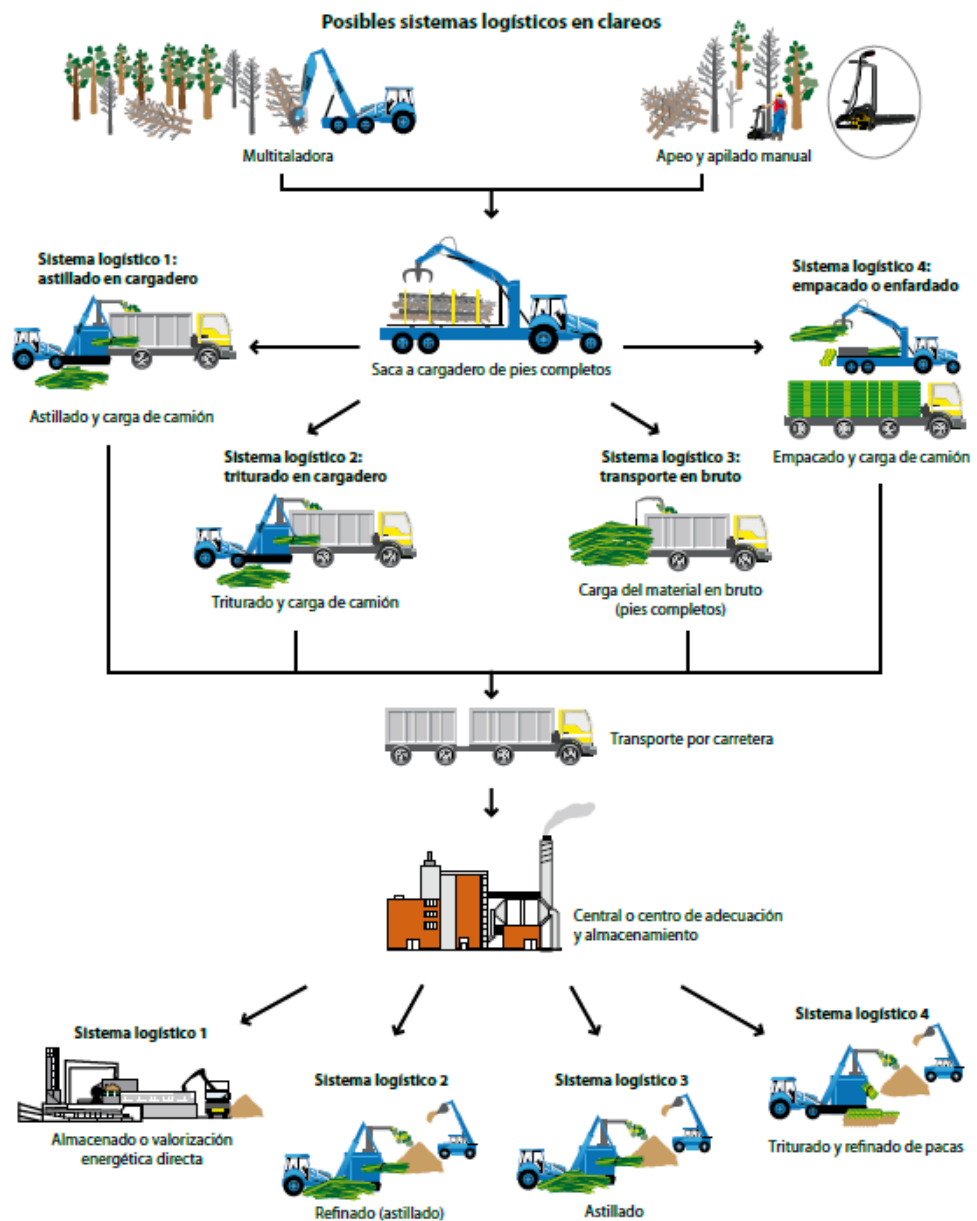
- Astillado en cargadero para su posterior transporte al parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento. Una vez en parque no será necesario un nuevo tratamiento de adecuación, a no ser que aparezca gran cantidad de inertes o el producto final no alcance las dimensiones requeridas.
- Triturado en cargadero y transporte a central o centro de acondicionamiento y almacenamiento donde se llevará a cabo un refinado del material.
- Transporte en bruto de la materia para su posterior astillado en parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento. Esta opción sólo resultará rentable cuando las distancias de transporte sean pequeñas.
- Empacado en cargadero para minimizar el coste de su posterior transporte. Grandes distancias de transporte hacen que esta opción sea la elección óptima. Posteriormente será necesario el triturado de pacas, separación de inertes (alambres, piedras, etc.) y su posterior refinado hasta la obtención del producto final requerido.

El transporte a la central se realiza bien utilizando un camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (principalmente empleado solo para el transporte de astillados o triturados).

Así pues, en el caso de clareos se plantean cuatro posibles sistemas logísticos, los cuales llevan asociados sus propios procesos y maquinaria como se representa en la Figura III.1.



Figura III.1. Esquema de los posibles sistemas logísticos en clareos



Fuente IDAE



3.2 Claras o resalveos

Principalmente se llevan a cabo en masas regulares de coníferas o masas de frondosas a turno largo para madera o leña.

El sistema más usual es el de aprovechamiento de árbol completo con multitaladora o cosechadora convencional seguido de saca de árboles completos a cargadero con autocargador. Una vez en cargadero se pueden llevar a cabo cuatro procesos diferentes como ya se comentó en el caso de clareos:

- Astillado en cargadero para su posterior transporte al parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento.
- Triturado en cargadero con refinado en parque de central o en centro de tratamiento y almacenamiento donde se refina el material.
- Transporte en bruto de la materia para su posterior astillado en parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento.
- Empacado en cargadero para transporte hasta parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento, donde será triturado y refinado.

Excepcionalmente se puede hacer el apeo manualmente y desde la calle, con un tractor tipo autocargador astillar o triturar, acumulando la astilla en un silo de 25 m³.

A continuación del cargadero, se realiza el transporte a la central, bien utilizando camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (adecuado a astillados o triturados).

Según las experiencias realizadas se puede concluir de forma general que:

- En la Cornisa Cantábrica, el 40% del transporte se lleva a cabo con biomasa bruta para su astillado o triturado fijo en planta o terminal logístico. Esta opción es especialmente recomendable



para montes privados de menor tamaño, más frecuentes en zona costera y para distancias menores a 30 km.

Otro 40% se empaca y se transportan las pacas a planta o terminal logístico donde serán tratadas hasta alcanzar los requerimientos del producto final. Esta opción es especialmente recomendable para distancias mayores y grandes consumidores a partir de montes privados.

El 20% restante se trata como astillado o triturado fijo en cargadero y transporte de astillas, especialmente en montes públicos o de cierto tamaño, más frecuentes en el interior, con cargaderos disponibles en el propio monte o fincas cercanas.

- En el resto de España, el 80% es astillado o triturado en cargadero. Los restantes sistemas podrían coexistir, especialmente en el norte y en Huelva, con un 10% cada uno.

La figura de representación de los posibles sistemas logísticos a seguir es similar al del caso de clareos (Figura III.1), ya que se está considerando que los árboles completos tienen uso biomásico.

Por último, para el caso de optarse por el empacado, el problema es que se debería incrementar el coste de apeo y procesado mecanizados, dado que sería necesario tronzar los pies, lo que supone un incremento de tiempo y de costes. Las referencias a productividad para empacado de árboles completos son escasas, pero se exponen algunas referidas a restos de corta. Se estima que en el caso de árboles completos el rendimiento debería ser algo superior.



3.3 Últimas claras y cortas finales en terreno suave

Estos tratamientos se llevan a cabo en coníferas y frondosas en masas regulares, semirregulares o irregulares para madera excepto choperas.

Las limitaciones de aprovechamiento de las masas son producciones inferiores a 15 t secas/ha y pendientes superiores al 30%.

El sistema más extendido es el de aprovechamiento integrado, es decir, aprovechamiento maderero y recolección de ramas y puntas previamente acordonadas (mejor en cortas mecanizadas –50% de los aprovechamientos– o con motosierra y empleando tractor con rastrillo o peine –50% de los aprovechamientos), saca con autocargador o tractor agrícola con remolque. Una vez en cargadero se puede optar por:

- El transporte de la biomasa bruta a la central o centro de adecuación y almacenamiento.
- Astillado en cargadero y transporte de la astilla a la central o centro de almacenamiento.
- Triturado y transporte a la central o centro de almacenamiento donde se refina el material.
- Enfardado o empacado y transporte de las pacas a la central o centro de adecuación y almacenamiento.

Excepcionalmente se puede astillar los restos acordonados desde la calle, con un tractor tipo autocargador con astilladora o trituradora, acumulando la astilla en un silo de 25 m³. Aún más excepcional es el empacar los restos acordonados con una empacadora y sacar estas pacas con tractor agrícola o autocargador.

A continuación del cargadero se realiza el transporte a la central, bien utilizando camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (solo adecuado a astillados o triturados).



En cuanto al acordonado de restos después de la corta manual, se realizarán con una cargadora telescópica con un rastrillo acoplado, que tiene un rendimiento acordonando restos de una hectárea por jornada, aproximadamente 0,12 ha/ hora, rendimiento algo inferior que el de una “grapa” (pala cargadora frontal). Sin embargo, con este apero se recogía un mayor porcentaje de los restos, y sin mezclarlos con tierra, además de complementar el trabajo de la astilladora. Esta máquina puede tirar de un remolque que acompañe a la astilladora y reagrupar los restos para facilitar el trabajo de alimentación de la astilladora.

Rodríguez Bachiller (2005) proporciona como rendimientos de reunión los de 3 horas/ha con tractor de cadenas de 90-110 CV, lo que supondría, para una producción de restos en cortas a hecho de eucalipto de 50 t por hectárea y una tasa de aprovechamiento del 75%, 3 horas de trabajo para 37,5 t; es decir, 12,5 t/hora de trabajo. Si se acepta un coste para el tractor con su operario de 40 €/h, ello supondría 3,2 €/t.

Para los tractores de cadena con apero recogedor, se acepta la equivalencia operativa entre dos tractores reuniendo y la empacadora enfardando los restos. En una experiencia descrita por Navarro (2005) se reportan costes de apilado de restos en empacadoras de entre 2,3 y 3,5 €/t verde.

Respecto a las experiencias existentes se puede concluir que de manera general:

- En la Cornisa Cantábrica, el 40% de la biomasa se transporta en bruto sin tratamiento alguno para el posterior astillado o triturado fijo en planta o terminal logístico (es especialmente recomendable para montes privados de menor tamaño, más frecuentes en zona costera, para distancias de menos de 30 km); otro 40% es empacado y se transportan las pacas a planta o terminal logístico donde son tratadas (especialmente recomendable para distancias mayores y grandes consumidores a partir de montes priva-



dos); mientras que el 20% restante es astillado o triturado en cargadero y transporte de astillas (especialmente en montes públicos o de cierto tamaño, más frecuentes en el interior, con cargaderos disponibles en el propio monte o fincas cercanas).

- En el resto de España, en el 80% de los casos el material es astillado o triturado en cargadero (los restantes sistemas podrían coexistir, especialmente en el norte y en Huelva, con un 10% cada uno).

3.4 Últimas claras y cortas finales en pendiente

En este caso se hace referencia especial a las masas de coníferas de crecimiento rápido y eucalipto en montes privados de la Cornisa Cantábrica, siempre que la producción sea superior a 15 t secas/ha, y las pendientes del terreno se encuentren entre el 30 y 75%, cuando la elaboración sea mecanizada.

El sistema de aprovechamiento más frecuente es el de corta con motosierra, seguida de desembosque por cableo de árboles completos hasta pista. Elaboración mecanizada en pista y amontonado de biomasa. Una vez en pista se puede optar por los tres sistemas comentados anteriormente:

- El transporte de la biomasa bruta a la central o centro de adecuación y almacenamiento.
- Astillado en cargadero y transporte de la astilla a la central o centro de almacenamiento.
- Triturado en cargadero y transporte hasta parque de central o centro de tratamiento y almacenamiento donde se refina el material.
- Enfardado o empacado y transporte de las pacas a la central o centro de adecuación y almacenamiento.



- El transporte a la central se realiza bien utilizando camión rígido, tráiler, tren de carretera (camión rígido con remolque) o camión piso móvil (solo adecuado a astillados o triturados).

El astillado en cargadero requiere un desembosque previo de las ramas y puntas hasta cargadero de monte, que se podría realizar con el mismo camión de monte o todoterreno que se emplease para transporte de la madera. Como media, se estima que los rendimientos, dada la mayor capacidad de los camiones con respecto a la de un autocargador y la mayor concentración de los restos a pie de trocha o pista temporal, serían los que se han indicado para el autocargador incrementados en un 50%.

En el resto de España, en el 80% de los casos el material es astillado o triturado en cargadero (los restantes sistemas podrían coexistir, especialmente en el norte y en Huelva, con un 10% cada uno).

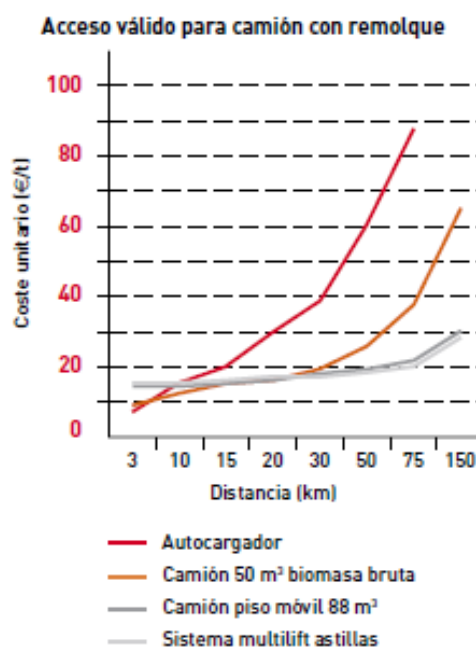


4. Tecnología del proceso

Tras valorar las distintas alternativas, se ha optado por las siguientes fases de aprovechamiento de la biomasa para nuestra planta (en el caso de que nos nutramos de productos silvícolas, y no de subproductos procedentes de la empresa maderera).

La decisión de transportar biomasa bruta o astillas/triturado en un sistema de aprovechamiento de árbol completo se puede apoyar en las curvas de costes de la Figura III.2.

Figura III.2 . Costes de trasporte en montes de acceso apto para camiones con remolque



Fuente: IDAE

Según observamos en la gráfica anterior, en los primeros 20 km la opción más rentable es transportar biomasa bruta en camión con semirremolque y a partir de 20 km empieza a hacerse rentable el transporte de astillas, también en camiones de gran tamaño, donde siempre es más económico el transporte de astillas en camión de piso móvil. La dificultad de



este sistema de transporte es su especificidad y los retornos, que los hace en vacío, incrementando el coste

Si la densidad de biomasa es suficientemente grande como para mantener una astilladora fija en un terminal logístico con radios de 20-25 km, como es nuestro caso, puede ser una buena alternativa la combinación de transporte de biomasa bruta en el propio autocargador y en camiones de distinto tamaño, en función del tipo de monte más característico de la zona. En todo caso, se considera una capacidad mínima del sistema de astillado estacionario, para densidades de residuos relativamente bajas pero zonas netamente forestales, de 30.000 tm/año.

Cuando las cantidades generadas son grandes, el coste más favorable lo producen los camiones con remolque, ya que obviamente interesa acudir a dispositivos de gran volumen para llegar a transportar el peso máximo posible, por ser este material muy ligero. Las astillas pueden comprimirse en la caja del vehículo para mejorar su ocupación (no así la madera bruta)

Si el transporte es a poca distancia, como en nuestro caso, lo más habitual sigue siendo el empleo de camiones rígidos e incluso de medios de desembosque (camiones todo-terreno, tractores autocargadores, etc.)

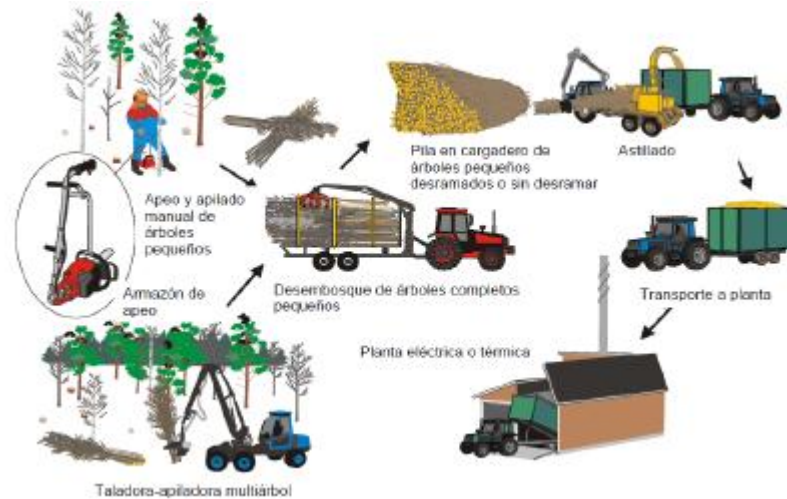
Las posibilidades para aumentar la carga del camión a utilizar aumentan según crezcan las cantidades a transportar con lo que se reducen los costes.

Una variación empleada es el uso de contenedores, comparables a los semirremolques, cuyo volumen aparente puede llegar a los 72 m³. Una buena muestra de esta última forma de transporte son contenedores que se depositan en los parques y después un camión equipado con dispositivo para auto cargárselo se encargará de llevarlos a la central, camión tipo multilift. Este sistema de contenedores es frecuentemente utilizado en las sierras pequeñas, estableciéndose una recogida periódica de los mismos.



En la Figura III.3 se resumen las diferentes fases de aprovechamiento de la biomasa procedente de tratamientos silvícolas.

Figura III.3. Fases de aprovechamiento de la biomasa



Fuente: IDAE



5. Costes biomasa

El cálculo de los costes se va a llevar a cabo mediante la estimación de las distintas actuaciones necesarias para la obtención de la biomasa. Así pues se van a distinguir los siguientes costes:

- *Coste de aprovechamiento*, el cual incluye el coste de apeo y de reunión del material.
- *Coste de adecuación del material*, hasta los requerimientos finales. Engloba todos aquellos procesos dirigidos a la transformación del material en bruto (empacado, triturado, astillado) ya sea en campo, cargadero o en el parque de la central o centro de tratamiento y almacenamiento.
- *Coste de saca*, hasta cargadero donde se carga el camión con el que se realiza el transporte por vías asfaltadas
- *Coste de transporte*, abarca el transporte desde el cargadero por vías asfaltadas hasta el lugar donde se encuentra ubicada la central o centro de almacenado.

Tabla III.1. Costes manipulación para pino

	Coste (€/tm/verde)
Apeo y apilado	7,4
Extracción	7,7
Astillado	6,4
Transporte	4
Total, costes indirectos (15%) y beneficio industrial (12,5%) incluidos	33

Fuente: IDAE



6.1. Recursos biomásicos aprovechables de origen forestal

De los aprovechamientos madereros que el hombre realiza se obtiene como producto principal la madera que va destinada a las industrias de primera transformación (aserraderos, preparación de postes, piquetes, apeas, etc.) y a las industrias de desenrollo, tableros y pasta de papel.

De estos aprovechamientos forestales, quedan en el monte unos restos de biomasa en forma de hojas, ramas con diámetro menor de 7 cm., rabeón, tocones y raíces. Todos ellos son susceptibles de aprovechamiento con fines energéticos.

De los tratamientos silvícolas de podas, limpiezas, desbroces y clareos, también se obtienen cantidades importantes de biomasa en forma de hojas ramas, ramillas, matorral, árboles de dimensión pequeña etc., que pueden ser utilizados como fuente energética.

Se hablará, de Biomasa Potencial Aprovechable, en referencia a las cifras máximas de producción de los distintos tipos de biomasa que puedan estar disponibles para su aprovechamiento, descontando del “potencial total”, la biomasa que se pierde como consecuencia de la mayor o menor eficacia en la recogida de estos.

En un *informe realizado por la Agencia Provincial de la Energía de Burgos (AGENBUR)*, se puede observar la biomasa potencial aprovechable de la comarca que nos ocupa, en su parte burgalesa.

Para este informe, la elaboración de los datos se apoya fundamentalmente en el 3º Mapa forestal de España y el 3º Inventario Forestal Nacional, realizados ambos en Castilla y León en los años 2003-2004.

Se ha considerado para el cálculo de existencias, aquellas parcelas del IFN3 en las que la especie que define el tipo de bosque sea claramente dominante y la principal. Para ello se establece el siguiente criterio; *del total de las parcelas del IFN3 que caen sobre un tipo de bosque determinado, se*



utilizarán para el cálculo de existencias, aquellas con un porcentaje de área basimétrica mayor del 50 % en la especie que define ese mismo tipo de bosque.

Se ha dividido la superficie de inventariación según el tipo de bosque presente y la fase de desarrollo (*M. Bravo, Latizal, Fustal*) en la que se encuentra la masa forestal, resultando un total de 35 estratos de inventario en los que se ha superpuesto las parcelas del IFN3.

Se ha calculado cada una de las variables dasométricas para el conjunto de parcelas con el mismo estrato. De esta manera, se analizan bloques más homogéneos, dada la variabilidad de las poblaciones forestales, de no hacerlo así, daremos lugar a intervalos de confianza excesivamente amplios, que reducen la utilidad de la media de los valores obtenidos.

Los parámetros calculados son los siguientes:

- N° pies mayores/ha
- N° pies totales /ha (suma de los pies menores mas los pies mayores)
- Área Basimétrica (m^2/ha)
- Volumen con corteza ($VCC m^3/ha$), volumen maderable con corteza en dm^3

$$VCC = a + b \cdot (D.N.)^2 \cdot Ht$$

donde, a y b dependen de la especie

D.n, diámetro normal en milímetros

Ht, altura total en metros

- Biomasa aérea (Tm/ha)

Los valores correspondientes al *VCC* y *Área Basimétrica* están referidos a los pies mayores de la parcela (se consideran pies mayores



aquellos pies con diámetro normal superior a 7,5 cm, clase diamétrica 10), sin embargo para el cálculo de la biomasa aérea (BA), se han tenido en cuenta tanto los pies mayores como los pies menores.

Para el cálculo de la *Biomasa Aérea* (BA Tm/ha) se han utilizado las ecuaciones elaboradas en el estudio llevado a cabo en el Centro de Investigación Forestal del INIA con la colaboración de la empresa pública EGMASA de la Junta de Andalucía, y la Dirección General para la Biodiversidad del Ministerio de Medio Ambiente (*Montero et. al, 2004*) sobre la *Producción de Biomasa y Fijación de CO₂ por las Principales Especies Forestales Españolas*.

Los modelos obtenidos en el estudio son de la forma:

$$Lg(Y) = a + b \cdot Lg(X)$$

siendo Y, biomasa de cada fracción, en kilogramos de materia seca

X, diámetro normal, en centímetros

a y b, dependen de la especie

Los datos obtenidos al aplicar las ecuaciones cedidas por el INIA a cada especie están todos referidos a peso seco en estufa y son los que se muestran por defecto en el texto, de forma que para convertir a peso seco al aire o peso fresco en el momento del aprovechamiento es necesario incrementar dichos valores según los correspondientes contenidos de humedad.

Respecto a los valores de humedad se considerarán los siguientes valores como referencia:

- *Peso fresco en pie*; Humedad en pie (en base húmeda) (40-45 %).



- *Peso semifresco*; Humedad en el momento de la saca 28 % en base húmeda, 39 % en base seca.
- *Peso seco al aire*; Humedad tras unos meses de almacenamiento, 16,7 % en base húmeda, 20 % en base seca.
- *Peso seco en estufa*; humedad igual al 0%. Los datos de biomasa que se recogen en el texto se refieren en todo momento a este peso, mientras no se indique lo contrario.

Por otro lado, se han fijado unos porcentajes de reducción en la eficacia de recogida de los restos de los aprovechamientos forestales en función del intervalo de pendiente en el que nos encontremos. Así, se estima que los porcentajes de eficacia de recogida son de un 80 % en las zonas con una pendiente inferior al 10 %, del 70 % en las zonas con pendiente comprendidas en el intervalo 10-30 % y se reduce a un 20 % en las zonas con pendientes entre el 30-50 %.

En el caso de masas del género *Quercus sp.* la recogida de los restos de intervenciones silvícolas se centra exclusivamente en las ramas gruesas (ramas de más de 5 cm. de diámetro) quedando esparcidos en el monte en torno al 25 % de los restos generados en forma de ramillas y chirpiales delgados, puesto que la recogida de estos restos supondría un coste no asumible (experiencia basadas en claras de rebollo en la Pedraja (Burgos) (Jesús Álvarez, 2004). Por tanto en estos casos los porcentajes de eficacia establecidos han sido mas restrictivos; un porcentaje de eficacia de recogida del 65 % en pendientes inferiores al 10 %, del 55 % en zonas con pendientes entre el 10 y el 30% y una eficacia del 10 % en zonas con pendientes entre el 30 y el 50 %.

Una vez aplicado el porcentaje medio de eficacia de recogida en función de las pendientes de las superficies sobre las que vegetan los distintos tipos de bosque se ha obtenido la *biomasa potencialmente aprovechable* (Tm/ha de peso seco en estufa). *Estos valores obtenidos son valores medios en toda la superficie de la masa*, es decir, habrá zonas en las que se recoja menos toneladas por hectárea y zonas en las que se recoja mayor cantidad, en función de diferentes parámetros.



Los datos más significativos vienen reflejados en la Tala III.2.

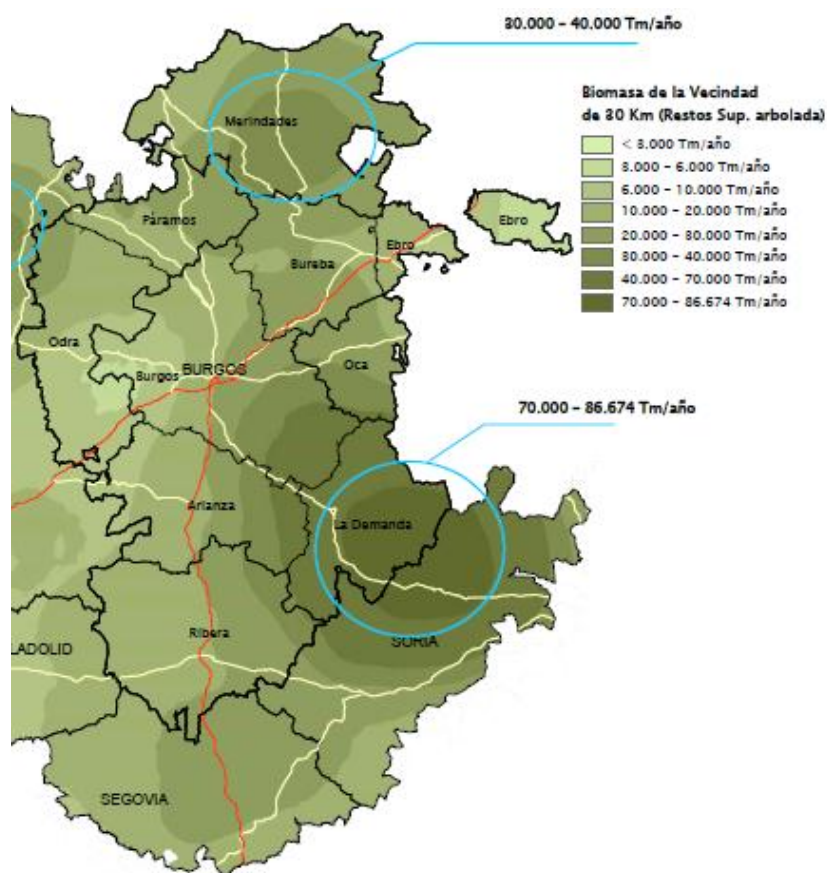
Tabla III.2. Biomasa parte burgalesa comarca de Pinares

Tipo de bosque	Tm/año (H=0%)	Ha	Tm/ha año (H=0%)	tep /año
Pinus halepensis	-	-	-	-
Pinus nigra	1.516	1.779	0,85	700,83
Pinus pinaster	2.533	7.232	0,35	1.225,82
Pinus pinea	-	-	-	-
Pinus radiata	-	-	-	-
Pinus sylvestris	23.704	32.611	0,73	11.783,59
Encinar	586	1.522	0,38	265,33
Rebollar	10.353	23.691	0,44	4.964,12
Quejigar	149	578	0,26	64,28
Hayedo	941	2.605	0,36	435,59
Sabinar	371	3.215	0,12	208,42
Choperas de producción	507	488	1,04	187,47
Total general	40.660	73.720	0,55	19.835,45

Fuente: AGENBUR

Considerando que la parte soriana de dicha comarca tiene una extensión similar o incluso mayor que la burgalesa, como se puede observar en la figura III.5, la biomasa necesaria para nuestra planta estará garantizada con la biomasa presente en la zona en la que se ubicará la planta.

Esta apreciación se podrá certificar de forma más empírica con la Figura III.5, donde se muestra gráficamente la cantidad de biomasa de la vecindad existente en la provincia de Burgos y zonas adyacentes, pudiéndose observar el gran potencial de la Comarca de Pinares, con 70.000 – 86.674 Tm/año en un radio muy próximo a la ubicación de la planta.

**Figura III.5. Biomasa de la vecindad (30 km)**

Fuente: AGENBUR

6.2. Cuantificación de la biomasa disponible procedente de los residuos de las industrias de primera transformación

Los subproductos generados pueden tener, a parte de la producción energética, otros usos, ya que tienen aplicaciones en la industria del tablero, en la industria papelera, en explotaciones ganaderas locales o en la construcción.

Según un estudio realizado por AGENBUR acerca de los subproductos generados por las empresas de primera transformación de la madera de la provincia de Burgos, que se pueden observar en la Figura III.6, situadas la mayor parte en la comarca de La Demanda y La Ribera, donde se concentra la mayor cantidad de superficie arbolada.

**Figura III.6. Concentración de empresas madereras en la provincia de Burgos**

Fuente: AGENBUR

Los subproductos generados pueden tener, a parte de la producción energética, otros usos, ya que tienen aplicaciones en la industria del tablero, en la industria papelera, en explotaciones ganaderas locales o en la construcción, los principales residuos generados son los mostrados en la Tabla III.3:

Tabla III.3. Producción anual de subproductos en la provincia de Burgos

Subproducto	Producción anual (Tm)
Serrín	77.633
Viruta	3.236
Astillas	110.877
Corteza	26.674
Otros tipos de residuos	20.050
TOTAL	238.690

Fuente: AGENBUR



En cuanto a su localización, dada la extensión de la provincia de Burgos, se tendrán únicamente en cuenta los subproductos de aquellas empresas que se encuentren en el área más cercana a la planta, reflejados en la Tabla III.4.

Tabla III.4. Subproductos procedentes de industrias por municipio

Localidad	Tm/año
Arauzo de Miel	30
Canicosa de la Sierra	5.000
Doña Santos	15.554
Hontoria del Pinar	11.786
Huerta de Rey	12.405
Palacios de la Sierra	12.484
Quintanar de la Sierra	51.040
Regumiel de la Sierra	53.939
Salas de los Infantes	4.497
VILVIESTRE DEL PINAR	10.953
Total	177.688

Fuente: AGENBUR

Se observa que la mayoría de los subproductos de la provincia (74,4%) se encuentran en un área próxima a la planta (aprox. en un radio de 25-30 km)

No disponemos de datos acerca de la parte soriana de la Comarca de Pinares, pero por volumen empresarial, se pueden suponer unos datos muy similares a los obtenidos de en la tabla anterior.



En cuanto al coste económico, el Centro de Desarrollo de Energías Renovables (CEDER), dependiente del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) estima un precio medio a puerta de fábrica de unos 40 € por tonelada.

7. Análisis de la biomasa utilizada

Las principales normas orientadas a obtener una biomasa de mayor calidad son las siguientes:

- No arrastrar o incorporar tierra ni piedras con la biomasa.
- Dejar secar la biomasa para que el combustible llegue lo más seco posible a su destino, y por tanto, con un mayor poder calorífico.
- A mayor calidad exigida, será más conveniente que no incluya hojas o, en su caso, acículas.

Las características del combustible quedarán definidas mediante varios análisis. Al no existir una normativa común para la medición, cada elemento atiende a su propia normativa.

7.1. Análisis inmediato

Es la determinación del contenido en carbono fijo, elementos volátiles y cenizas.

El *carbono fijo* se obtendrá como diferencia a 100 de los volátiles y las cenizas.

$$\%C_{fijo} = 100 - \%vol - \%cen$$



Para los *volátiles*, formados por hidrocarburos de cadenas largas, dióxido y monóxido de carbono e hidrógeno además de residuos carbonosos y vapor de agua, la muestra será sometida en un horno de mufla a 950°C en crisol tapado, durante un intervalo de 5 minutos. El porcentaje de volátiles será hallado como la diferencia entre las masas inicial y final de la muestra en función de la masa inicial, según la normativa UNE 32-019, a aplicar en este caso

$$\%vol = \frac{m_i - m_f}{m_i} \cdot 100$$

En la biomasa forestal, el contenido en volátiles suele ser bastante alto, con contenidos comprendidos entre el 65-85%, por lo que una parte del poder calorífico estará contenido en ellos.

Respecto a las *cenizas*, son formadas por partículas de mineral discretas, inclusiones en la biomasa de partículas de mineral y elementos inorgánicos asociados a la materia orgánica. Su porcentaje en la biomasa forestal es bajo (entre el 0,5 y el 5%).

Son analizadas mediante la norma ASTM D3682, siendo importante que la cantidad de cenizas sea poco significativa, debido a que producen depósitos y escorias en los refractarios que disminuyen el poder calorífico del combustible.

7.2. Análisis elemental

Consiste en la determinación de los porcentajes de C, H, N y S, para lo cual se quemará una muestra en una cámara de combustión a temperatura variable y se analizarán los gases de combustión. El porcentaje de oxígeno se calculará sobre el producto libre de cenizas, por diferencia a 100 de la suma de los cuatro elementos, de esta forma:

$$\%O = 100 - (C + H + N + S) - \%cen$$



Por lo general, la biomasa forestal se caracteriza por tener contenido en carbono menor del 50% y un alto contenido en oxígeno (generalmente menor del 40%), así como un bajo contenido en azufre y cenizas, condiciones favorable para su aprovechamiento energético.

El análisis elemental se realiza atendiendo a la normativa contenida en la ASTM D5373.

7.3. Poder calorífico

El poder calorífico de un combustible es la entalpía de reacción de su reacción de combustión completa cambiada de signo en condiciones estándar (1 atm y 25°C).

Se define entalpía de reacción como la entalpía de formación del combustible menos la entalpía de formación de los productos.

En función de cuál consideremos como estado estándar se definen dos poderes caloríficos:

- *Poder Calorífico Superior (PCS)* en el que el vapor de agua se encontrará totalmente condensado, ya que los elementos de la combustión son tomados a 0°C y los productos son llevados también a 0°C después de la combustión.
- *Poder Calorífico Inferior (PCI)*, que considera que el vapor de agua contenido en los gases de combustión no condensa, por lo que no habrá aporte adicional de calor por condensación del vapor de agua.



Como se ha demostrado en el anexo 'Cálculos', la norma UNE 164001 EX, permite calcular el poder calorífico en función de la humedad en base húmeda.

$$PCI = (PCS_0 \cdot 1000(1 - H_m) - 11,27 \cdot (H_m \cdot 100) - 1322)/1000$$

siendo: PCS_0 : poder calorífico superior de la biomasa con humedad cero (kJ/kg)

La mayor parte de los residuos que se empleen en la planta de gasificación procederán del *Pinus Sylvestris*, especie perteneciente a la familia Pinacea.

Por los datos obtenidos del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), el valor de PCS_0 para las leñas de esta especie, es de 21,1 MJ/kg.

Según la equivalencia de unidades se aplica la siguiente fórmula para la obtención de toneladas equivalentes de petróleo (tep) equivalentes a una tonelada de biomasa verde (h%)

$$\frac{tep}{tm} = PCI(H_m) \cdot 0,0239$$

7.4. Otras características

Pureza del combustible

Grado de contaminación (presencia de tierras, lixiviados, etc), presencia de agentes patógenos, etc.

Densidad

Salvo para los combustibles densificados, la biomasa se caracteriza por una baja densidad, que repercutirá desfavorablemente en aspectos



asociados a su utilización como combustible, como serán el transporte, almacenamiento y diseño de los equipos de transformación energética.

Granulometría y presentación de la biomasa

Ha de permitir el aprovechamiento energético de la misma, de tal forma que se adapte correctamente al tipo de equipo y sistema de aprovechamiento.

8. Secado biomasa

Son necesarias una serie de operaciones previas de transformación física y acondicionamiento con el fin de adecuar nuestra biomasa residual a los requerimientos necesarios para el gasificador.

Las principales etapas de transformación realizables para el tratamiento de la biomasa residual son el astillado, secado natural y secado forzado. En el caso de que se quieran obtener pellets o briquetas de biomasa también será necesario realizar un tamizado y densificación.

Según el contenido hídrico de la biomasa, se puede definir como:

- Biomasa seca, tiene un contenido de humedad menor del 15%. Los procesos de transformación más apropiados para este tipo de biomasa son los termoquímicos.
- Biomasa húmeda o semihúmeda cuando el contenido en humedad es superior al 15%. Para su aprovechamiento energético, se aplican sobretodo la digestión anaerobia y el compostaje.

Esta agua que contiene la biomasa forestal se puede presentar de tres formas:



- Agua de impregnación. Es aquella que rellena los espacios y paredes celulares.
- Agua libre o de capilaridad. Rellena los intersticios y espacios intercelulares de tamaño capilar.
- Agua de constitución. Forma parte de la estructura de la madera, de manera que su disminución significa la destrucción de la estructura celular.

Por lo tanto, podremos decir que el secado de la madera implica un proceso de desplazamiento de este agua del interior hacia el exterior. Intervienen para ello mecanismos de succión capilar, difusión a lo largo y a través de las paredes celulares, gradientes térmicos y la presión atmosférica.

El agua se mueve desde las zonas más húmedas hacia las más secas, por succión capilar y por difusión a través de la pared celular. Por otra parte, la humedad se desplaza desde los puntos de mayor temperatura hacia los más fríos. Dado que la madera es un material de baja conductividad térmica, durante el secado la temperatura en el interior es menor que en el exterior. Por tanto existen dos gradientes de signo contrario que finalmente determinan la velocidad de secado.

8.1 Secado natural

Normalmente, la biomasa residual forestal presenta un elevado contenido de humedad, lo que plantea una serie de problemas en el acondicionamiento para su utilización con fines energéticos.

El secado natural se basa en aprovechar las condiciones ambientales favorables para facilitar la deshidratación de los residuos. En el caso de los residuos forestales procedente de las cortas existen dos posibilidades: realizar el secado directamente en el monte, o realizar el secado después de haberlos convertido en astillas. En los países nórdicos, se suele realizar un apilado de los restos de corta en grandes pilas que se cubren con un film de



papel encerado para evitar que penetre el agua de la lluvia. En otros casos, debido al sistema de trabajo utilizado para la recogida y aprovechamiento de los residuos, a la premura en la preparación y plantación del monte, o a que exista un riesgo importante de plagas e incendios, el secado natural se realiza después del astillado del material.

Durante el almacenado de residuos de la madera se producen una serie de procesos termogénicos debidos a la acción de las células vivas de la madera, a la actividad biológica de microorganismos (bacterias y hongos) y a fenómenos de oxidación química e hidrólisis ácida de los componentes de la celulosa, que ocasionan pérdidas energéticas en los materiales.

La liberación inicial de calor en la pila, es producida fundamentalmente por la respiración de las células vivas de parénquima y el desarrollo de bacterias. Cuando se alcanzan temperaturas del orden de 40°C, las células vivas mueren gradualmente; a partir de este punto la evolución del calor a largo plazo está ocasionada fundamentalmente por la respiración de los hongos, pero por encima de 45 - 50°C las reacciones químicas liberadoras de calor se hacen también cada vez más importantes.

La temperatura que llegan a alcanzar las pilas de residuos depende, además, de la temperatura ambiente, precipitaciones, tamaño y compactación de la pila, y del contenido y distribución de corteza y elementos finos.

En las partes centrales de las pilas la temperatura se eleva rápidamente durante las primeras semanas de almacenaje, luego se estabiliza y, finalmente, disminuye de forma progresiva.

Bajo determinadas condiciones pueden producirse fenómenos de carbonización o ignición espontánea de las pilas. Este fenómeno tiene mayores probabilidades de aparecer en pilas grandes, comenzando en las cavidades que contienen elementos finos y corteza. El fenómeno de autocombustión de los montones se verá favorecido cuando los residuos tienen gran cantidad de corteza o cuando sobre la superficie se forman



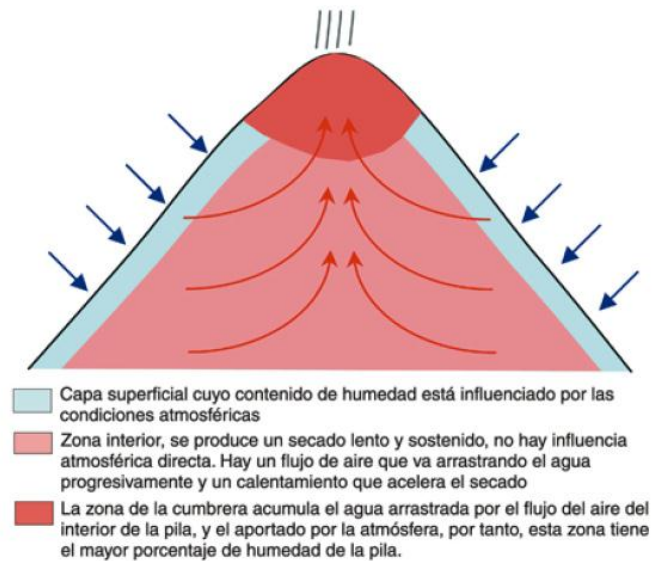
costras de hielo o se acumulan materiales finos que obturan los huecos e impiden el intercambio de calor con la atmósfera.

Durante el secado de astilla en montones o pilas, se produce el llamado *efecto chimenea* cuya dinámica es la siguiente:

El aire penetra en las pilas desde la superficie y enfría los residuos a la vez que se recalienta según avanza hacia el centro del montón; la corriente de aire arrastra el agua contenida en los materiales, produciéndose así un flujo de aire húmedo y cálido desde el interior de los montones hacia la cumbre; de esta forma, el agua fluye verticalmente y se acumula en la cúspide donde se experimenta un fuerte recalentamiento y salida de vapor a la atmósfera.

El recalentamiento se ve favorecido por la acumulación de microorganismos arrastrados por el flujo de aire, con lo que se acelera el incremento de población microbiológica y, por tanto, la actividad termogénica. La salida de vapor a la atmósfera produce una impresión de humeo de la cúspide de los montones, lo cual da nombre a este fenómeno (*efecto chimenea*), representado en la Figura III.7.

Durante este almacenamiento en pilas de la astilla, se registra una pérdida de madera que en general suele estar comprendida entre el 0,5-1% por mes en climas fríos y templados, y el 0,75-3% por mes en climas cálidos y húmedos.

**Figura III.7. Dinámica de secado****Dinámica de secado en las pilas de astilla**

Fuente: www.cismadera.com

Las recomendaciones prácticas más importantes para lograr un secado natural, sin tener una pérdida importante de materia seca, son:

- Hacer pilas de no más de 40-50 m³, evitando el apelmazamiento del material.
- Evitar la presencia de finos que impiden la entrada de aire en la pila.
- Controlar la temperatura en el interior de la pila, y voltear el material cuando se registren temperaturas superiores a 60°C.



8.2. Secado forzado

Se recurre al secado forzado cuando la humedad conseguida con el secado natural no es la adecuada para el procesado del material, o bien no se disponen las condiciones necesarias para su realización.

Para el secado forzado de biomasa, los equipos más utilizados se clasifican en:

- Secaderos directos: la transferencia de calor es por contacto directo entre el material húmedo y los gases calientes.
- Secaderos indirectos: la transferencia de calor se realiza a través de una pared de retención.

Los diseños que mejor se ajustan a estos tipos de transferencia de calor, y suelen resultar más adecuados para el secado de biomasa son los de tambor rotatorio o "trommel" y los de tipo neumático.

Los secaderos de tipo neumático se basan en el arrastre de los residuos mediante un flujo térmico que el recorrido extrae la humedad del material. Suelen utilizarse cuando el producto es de granulometría fina y/o se requiere una ligera deshidratación. Básicamente constan de un foco de calor que genera el flujo térmico deshidratador, un canal de secado donde el flujo térmico arrastra los sólidos en suspensión y provoca la salida del agua contenida en ellos, y un sistema de succión que posibilita el movimiento del flujo y los materiales.

Los secaderos rotatorios tipo "trommel" se suelen utilizar cuando se trabaja con materiales muy húmedos y/o de granulometría gruesa. Constan de las mismas partes que en el caso anterior, si bien en estos equipos el canal de circulación es un cilindro que gira, facilitando el contacto entre los sólidos y el flujo secante. En este tipo de secaderos el movimiento de los sólidos se controla regulando la pendiente interior y el giro del cilindro.



Atendiendo a la dirección del flujo térmico respecto al flujo del material, se distinguen secaderos de corrientes paralelas unidireccionales y secaderos a contracorriente.

- Secaderos equicorriente: el flujo de gas y de sólidos discurren en el mismo sentido, de forma que el gas se va cargando de humedad durante el recorrido, por lo que al final del secadero el gas puede llegar a estar saturado de agua, con lo que la eficacia de secado disminuye.
- En los secaderos a contracorriente los flujos de gas y sólido viajan en sentidos distintos. De esta manera, los sólidos según avanzan van encontrando un ambiente cada vez más seco y de mayor temperatura, con lo que la deshidratación es más eficaz y constante. Presenta un mayor riesgo de ignición de incendios. Las temperaturas de entrada de gases suelen estar entre los 200 y 500°C y los de salida entre los 90 y 120°C (para evitar condensaciones y pérdidas de calor en la chimenea).

Para comprender el secado forzado es preciso definir y conocer algunos términos que permiten expresar la cantidad de agua que contiene el sólido a secar, así como la cantidad de agua que es necesario eliminar para secarlo, estos conceptos son:

Humedad en base seca, es la cantidad de agua referida al sólido seco.

$$H_s = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ sólido seco}}$$

Humedad en base húmeda, es la cantidad de agua que contiene el sólido referido al sólido húmedo (sólido seco + agua).



$$H_m = \frac{kg \text{ agua}}{kg \text{ agua} + kg \text{ sólido seco}}$$

Relación entre ambos conceptos

$$H_m = \frac{H_s}{H_s + 1}$$

A partir de estos conceptos pueden plantearse los balances de materia y energía que se dan en el proceso de secado.

8.1.1 Balance de materia

En el proceso de secado se supone que todo el agua que sale del producto pasa al aire, entonces debe cumplirse que la disminución de agua en el producto sea igual al aumento de agua en el aire.

$$M_w = m_s \cdot \Delta W_s = m_a \cdot \Delta X$$

siendo m_w la cantidad de agua

m_s la masa de producto seco

m_a la masa de aire seco

ΔW_s humedad perdida por el producto en base seca

ΔX la humedad ganada por cada kg de aire seco.



8.1.2 Balance de energía

Para establecer el balance de energía, supondremos que la temperatura del termómetro húmedo permanece constante durante el proceso de secado (la variación de entalpía específica será muy pequeña y positiva, pero no exactamente cero), la mayor parte de la energía que aporta el aire se empleará en la evaporación del agua contenida en el sólido

En estas condiciones debe cumplirse el siguiente balance de energía:

$$M_a \cdot (\Delta h_2 - \Delta h_1) = m_s \cdot \Delta W_s \cdot c_w(T_h) \cdot T_h$$

siendo $(\Delta h_2 - \Delta h_1)$ variación de entalpía específica del aire,

$m_s \cdot \Delta W_s$ agua evaporada del sólido

$c_w(T_h)$ calor específico del agua líquida a la temperatura del termómetro húmedo.

Rendimiento térmico del proceso de secado, cociente entre el calor necesario para la vaporización del agua contenida en el producto a una temperatura aproximadamente igual a la del termómetro húmedo, y la entalpía del aire al comienzo del proceso de secado.

$$R_t = \frac{M_w \cdot L_v \cdot T_h}{M_a \cdot \Delta h_1}$$

ANEXO IV: TECNOLOGÍA DE GASIFICACIÓN



Índice

Índice de tablas.....	I-168
Índice de figuras.....	I-169
1. Introducción	I-170
1.1 Procesos bioquímicos.....	I-170
1.1.1 Digestión anaerobia	I-170
1.1.2 Fermentación alcohólica	I-171
1.1.3 Procesos agro-mecánicos.....	I-171
1.1.4 Obtención de hidrógeno	I-172
1.2 Procesos termoquímicos	I-173
1.2.1 Combustión directa	I-173
1.2.2 Pirólisis.....	I-174
1.2.3 Gasificación.....	I-174
1.2.4 Licuefacción	I-175
2. Gasificación	I-176
2.1 Etapas en la gasificación	I-177
2.2 Factores de operación	I-177
2.3 Factores dependientes del residuo gasificado.....	I-178
2.4 Principales reacciones químicas.....	I-179
2.5 Tipos de gasificadores	I-181
3. Aprovechamiento energético del gas resultante	I-186



3.1	Cogeneración con motor alternativo de gas	I-187
3.2	Cogeneración con turbina de gas	I-190
3.3	Cogeneración con turbina de vapor	I-193
3.4	Cogeneración en ciclo combinado	I-194
3.5	Elección de la tecnología de cogeneración.....	I-195
3.6	Otras alternativas.....	I-197
3.6.1	Microturbinas.....	I-197
3.6.2	Pilas de combustible	I-198
4.	. Alquitranes.....	I-201
4.1	Alquitranes pesados	I-201
4.2	Alquitranes ligeros	I-202
4.3	Clasificación de los alquitranes.....	I-203
4.4	Punto de rocío de los alquitranes	I-204
4.5	Formas básicas de eliminar los alquitranes	I-204
5.	Selección del gasificador	I-205



Índice de tablas

Tabla IV.1. Modo de contacto del sólido con el gas	I-181
Tabla IV.2. Principales características de los diferentes tipos de gasificadores.....	I-183
Tabla IV.3. Selección tecnología cogeneración	I-196
Tabla IV.4. Características generales de las celdas de combustibles	I-200
Tabla IV.5. Clasificación de los alquitranes	I-203



Índice de figuras

Figura IV.1: Cambios químicos durante los procesos de conversión de la biomasa	I-180
Figura IV.2: Gasificador de lecho fijo Updraft	I-184
Figura IV.3: Gasificador de lecho fijo Downdraft	I-185
Figura IV.4: Distintos usos del gas obtenido	I-186
Figura IV.5: Flujos de energía en un motor de Gas	I-188
Figura IV.6: Flujos de energía en una Turbina de Gas	I-191
Figura IV.7: Diagrama de flujo de una turbina de vapor	I-193
Figura IV.8: Flujos de energía en un ciclo combinado de gas natural	I-195
Figura IV.9: Alquitrán pesado acumulado.	I-201
Figura IV.10: Cristalización del naftaleno en un motor a gas	I-202
Figura IV.11: Régimen de maduración de los alquitranes.	I-203
Figura IV.12. Rangos de operación	I-206



1. Introducción

Existen varios métodos para transformar la biomasa en energía. A continuación se muestra una breve exposición de cada uno de ellos.

1.1 Procesos bioquímicos

1.1.1 Digestión anaerobia

La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado). En biodigestores se aprovecha esta liberación de gases para luego ser usados como combustible. La intensidad y duración del proceso anaeróbico varían dependiendo de diversos factores, entre los que se destacan la temperatura y el PH del material biodegradado.

La digestión anaerobia puede ser resumida en 4 etapas, en la primera se debe hidrolizar los compuestos de mayor peso molecular, tanto los disueltos como los no disueltos, por medio de enzimas (por ejemplo, amilasas y proteasas), en esta primera etapa se hidrolizan polímeros tales como polisacáridos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, formándose los correspondientes oligómeros y monómeros (azúcares, alcoholes, ácidos grasos, glicerol, polipeptidos, aminoácidos, bases púricas, y compuestos aromáticos). La segunda etapa la llevan a cabo bacterias acidogénicas que transforman los oligómeros y monómeros a ácidos grasos volátiles (ácidos: acético, propiónico, butírico y valérico principalmente). Las bacterias acetogénicas en la tercera etapa transforman a los ácidos grasos volátiles (AGV) a ácido acético, para que a su vez las bacterias



metanogénicas acetoclastas, en la última etapa, los transformen a metano (CH_4) y bióxido de carbono (CO_2), en esta cuarta etapa participan también las bacterias hidrogenotróficas, que mantienen el equilibrio del hidrógeno (H_2) en el medio, utilizándolo para reducir el CO_2 a CH_4 .

1.1.2 Fermentación alcohólica

La fermentación alcohólica es un proceso biológico de fermentación en plena ausencia de aire (oxígeno) originado por la actividad de algunos microorganismos que procesan los hidratos de carbono (por regla general azúcares: como pueden ser por ejemplo la glucosa, la fructosa, la sacarosa, el almidón, etc.) para obtener como productos finales: un alcohol en forma de etanol (cuya fórmula química es: $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$) dióxido de carbono (CO_2) en forma de gas y unas moléculas de ATP que consumen los propios microorganismos en su metabolismo celular energético anaeróbico. En la actualidad se está comenzando a sintetizar también etanol mediante la fermentación a nivel industrial a gran escala para ser empleado como biocombustible.

1.1.3 Procesos agro-mecánicos

Los aceites procedentes de las semillas de varios tipos de biomasa, en especial las materias oleaginosas, que contienen una alta proporción de aceite, se pueden utilizar directamente para remplazar al biodiesel o para calefacción.

La planta más común para estos procesos es el aceite de colza. También se utilizan el aceite de palma, aceite de girasol, aceite del grano de soja, y aceites reciclados de freír.



1.1.4 Obtención de hidrógeno

La posibilidad de obtener hidrógeno parece particularmente atractiva dado que se postula como futuro vector energético en sustitución de los combustibles fósiles actuales, una vez que se solventen los problemas tecnológicos relacionados con su almacenamiento, transporte, y sobretodo, el desarrollo de una pila de combustible factible.

La obtención de hidrógeno por gasificación de biomasa se presenta como una opción interesante, ya que tiene la ventaja sobre el procedimiento clásico (reformado de metano con vapor de agua) de emplear un residuo y no materia prima química. Por lo tanto, se consigue realizar la doble tarea de eliminarlo y a la vez, valorizarlo.

La gasificación de residuos vegetales, no obstante, presenta una serie de desafíos. Por un lado, desarrollar catalizadores que maximicen la producción de hidrógeno a las elevadas temperaturas de trabajo con la mayor vida útil posible. Por otra parte, conseguir el máximo agotamiento posible de CO en la corriente de hidrógeno obtenida considerando su futura aplicación como combustible en una pila. El motivo radica en el envenenamiento de los electrodos (basados en Pt, Pd o Ni habitualmente) por el CO y que imposibilita su funcionamiento. No obstante, a pesar de estas dificultades, la gasificación de residuos vegetales para obtener hidrógeno presenta un futuro esperanzador.



1.2 Procesos termoquímicos

1.2.1 Combustión directa

La combustión es una reacción química de oxidación, en la cual generalmente se desprende una gran cantidad de energía, en forma de calor y de luz, manifestándose visualmente como fuego.

Esta es la forma más directa de aprovechamiento de la biomasa, pudiéndose utilizar la energía térmica obtenida tanto para fines domésticos como para fines industriales.

En el proceso de combustión de la biomasa como consecuencia de las altas temperaturas, los volátiles se desprenden de la biomasa y arden en forma gaseosa (produciéndose llamas alargadas). Dos terceras partes del poder calorífico de la biomasa suelen estar contenidas en los volátiles.

La combustión de la biomasa, se realiza por tanto parcialmente en forma gaseosa y el resto en fase sólida. Este tipo de combustión exige aportar el aire al hogar al menos en dos puntos diferentes: aire primario, en la parrilla del hogar donde se encuentra el sólido carbonoso y el aire secundario, en la zona superior donde se desprenden los volátiles.

Para tratar de minimizar los problemas derivados de la heterogeneidad y baja densidad energética de la biomasa, un proceso de pretratamiento de la misma consiste en una compactación de sus partículas para dar lugar a unos biocombustibles sólidos derivados denominados pellets y briquetas.



1.2.2 Pirólisis

La pirolisis (del griego *piro*, 'fuego' y *lisis*, 'rotura') es un proceso de oxidación parcial y controlada, a elevada temperatura, que permite obtener como producto una combinación variable de combustibles sólidos (carbón vegetal), líquido (efluente piroleñoso) y gaseosos (gas pobre). Es un caso especial de termólisis.

Actualmente, sólo la producción de carbón vegetal reviste importancia cuantitativa, considerándose a los productos líquidos y gaseosos como subproductos de la misma.

En general, se utiliza el término de pirolisis para los procesos en los cuales el objetivo es optimizar la producción de líquidos y con un ciclo de pirolisis corto, llamado flash pirolisis. Los biocombustibles obtenidos pueden ser utilizados en motores y turbinas, aunque presentan problemas de estabilidad térmica y corrosión. La devolatilización es un sinónimo de pirólisis, aunque literalmente se trata del desprendimiento de gases y vapores del residuo másico.

La pirólisis extrema, que sólo deja carbono como residuo, se llama carbonización, y se reserva para procesos pirolíticos lentos, donde el objetivo consiste en obtener la mayor productividad y calidad de carbón vegetal.

1.2.3 Gasificación

Proceso en el que se convierte, mediante oxidación parcial a temperatura elevada, una materia prima (generalmente sólida) en un gas con un moderado poder calorífico.



1.2.4 Licuefacción

Se basa en hidrogenación indirecta, por la que se rompen las moléculas complejas de celulosa y lignina, se remueve el oxígeno y se adicionan átomos de hidrógeno. El producto de esa reacción química es una mezcla de hidrocarburos que al enfriarse se condensan en un líquido.

La licuefacción de biomasa por hidrogenación se ha logrado a escala pequeña con residuos urbanos, varios residuos agropecuarios y forestales, encontrándose el método todavía en una fase de desarrollo.

De entre todas estas tecnologías para la conversión de biomasa en energía, será la gasificación la que se ha seleccionado para este proyecto, pasando a describirla más ampliamente a continuación.



2. Gasificación

La gasificación es un proceso en el que se convierte, mediante oxidación parcial a temperatura elevada, una materia prima (generalmente sólida) en un gas con un moderado poder calorífico. Normalmente se trabaja con un 25-30% del oxígeno necesario para la oxidación completa. Esta oxidación parcial se puede llevar a cabo utilizando aire, oxígeno, vapor o mezcla de ambos. El gas obtenido contiene monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), hidrógeno (H₂), metano (CH₄), pequeñas cantidades de otros hidrocarburos más pesados, agua (H₂O), nitrógeno (N₂) cuando se utiliza aire como agente gasificante y diversos contaminantes, como pequeñas partículas carbonosas (semicoque o char), cenizas y alquitranes.

El rendimiento del proceso varía dependiendo de la tecnología, el combustible y el agente gasificante que se utilice, en el rango del 70-80%. El resto de la energía introducida en gasificador se invierte en las reacciones endotérmicas, en las pérdidas de calor de los reactores, en el enfriamiento del syngas, necesario para su secado (eliminación del vapor de agua) y filtración, y en el lavado (cuando es necesario eliminar los alquitranes).

Se podrán citar como *ventajas* de la gasificación:

- Versatilidad, debido a que las características físicas y químicas de la biomasa empleada pueden ser muy heterogéneas, siempre y cuando cumplan con los requerimientos señalados por el fabricante
- Buena eficiencia en la producción eléctrica, obteniendo un rendimiento mayor que con la combustión directa
- Impacto ambiental aceptable, ya que minimiza el residuo que genera.

La viabilidad económica de las instalaciones de gasificación depende fundamentalmente de dos factores clave: el coste de la biomasa y el precio de venta de la electricidad generada.



2.1 Etapas en la gasificación

En el proceso de gasificación tienen lugar una gran variedad de reacciones cuyo orden e importancia relativa dependen de las condiciones de operación y del agente gasificante utilizado, pero que pueden agruparse en tres etapas:

- *Secado*: evaporación de la humedad contenida en la biomasa.
- *Pirólisis*: descomposición térmica de la materia, en nuestro caso un material orgánico en ausencia de oxígeno. Si el proceso es autotérmico (sin aporte externo de calor), se introduce algo de oxígeno con el fin de producir la combustión parcial que aporte calor al proceso. Los compuestos a base de carbono contenidos en la biomasa se descomponen dando gases, hidrocarburos condensables y un residuo carbonoso (semicoque o char).
- *Gasificación*: oxidación parcial del carbono, hidrógeno y oxígeno que ha quedado después de la pirólisis.

2.2 Factores de operación

Presión

En general, el aumento de presión desfavorece las reacciones de gasificación ya que aumentan las proporciones de hidrocarburos y alquitranes. Los gasificadores de lecho móvil suelen trabajar a presión atmosférica y los de lecho fluidizado pueden llegar a trabajar a 30 bar en algunos casos.

Temperatura

A altas velocidades de calentamiento y alta temperatura final se produce mayoritariamente gas, mientras que a temperaturas finales y velocidades de calentamiento menores se producen mayoritariamente líquidos o sólidos.



La temperatura influye además en los equilibrios de reacción. En general, el aumento de temperatura favorece el aumento del contenido en el gas producto de H_2 y CO en detrimento del CH_4 y del H_2O .

Relación agente gasificante/residuo

Valores excesivamente bajos de este parámetro pueden no generar la cantidad suficiente de energía para mantener el proceso en las condiciones adecuadas, produciéndose una disminución del rendimiento. Por otro lado, cuando el agente gasificante es aire, existe un efecto de dilución por parte del N_2 .

Para biomasa forestal, la relación óptima en peso de aire/biomasa se ha comprobado que está entre 0,5 y 1,6 para los gasificadores de lecho fluido, y alrededor de 1,5 para los gasificadores de lecho móvil.

2.3 Factores dependientes del residuo gasificado

Análisis elemental

El contenido en carbono, hidrógeno, nitrógeno, azufre, cloro y oxígeno.

Análisis inmediato

Contenido en cenizas, material volátil y carbono fijo.

Humedad

Influye sobre el balance térmico del proceso, pues una parte del calor producido debe utilizarse para evaporar esa cantidad de agua

Poder Calorífico

Determina la máxima energía aprovechable de un combustible.



Tamaño y característica de partícula

Influye en el tiempo necesario para que el proceso tenga lugar y en el volumen de reactor adecuado para ello. En el caso de los lechos fluidos este parámetro incide además sobre la velocidad mínima de fluidización.

La biomasa poco densa puede crear problemas de formación de canalizaciones preferenciales o dificultar la fluidización. En los lechos fijos pueden crearse problemas de pérdida de carga y el colapso del movimiento del lecho, dependiendo de la forma de las partículas.

2.4 Principales reacciones químicas

Las reacciones básicas que ocurren dentro del reactor son:

- Combustión (reacciones exotérmicas)



- Gasificación



- Shift (exotérmica)



- Metanización (exotérmica)



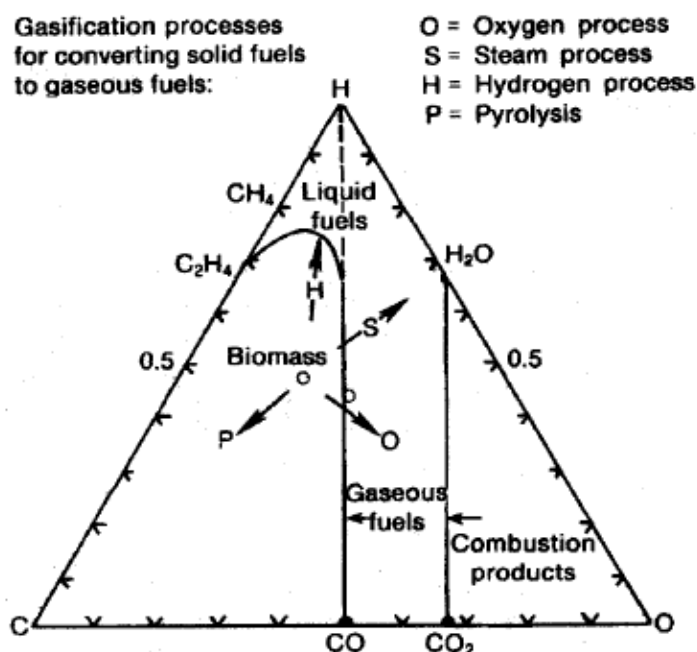


Apuntes a destacar acerca de estas reacciones:

- El semicoque o char en presencia de oxígeno tenderá a combustionar (Ec. 1). Como quiera que el oxígeno introducido en el reactor sea insuficiente, se favorece la presencia de CO por combustión incompleta (Ec. 2).
- El exceso de semicoque reacciona con los gases presentes (principalmente CO₂ y agua, (Ec. 3 y Ec. 5)).
- Las (Ec. 5 y Ec. 6) están favorecidas por la presencia de vapor de agua en el agente oxidante, por lo que la presencia de vapor favorece la producción de hidrógeno.
- La formación de metano (Ec. 7), está favorecida por las altas presiones.

En la Figura IV.1, se muestran los procesos térmicos de conversión de biomasa, es esta gráfica se ve como se mueve la composición química de la biomasa en las regiones de combustible líquido o sólido, ya sea por medios biológicos o térmicos.

Figura IV.1: Cambios químicos durante los procesos de conversión de la biomasa



Fuente: Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems, SERI, 1988.



2.5 Tipos de gasificadores

- Lecho descendente o fijo
 - Updraft
 - Downdraft.
- Lecho fluidizado
 - Burbujeante
 - Circulante
 - Arrastrado
- Rotatorios.
- Reactores paralelos o dobles.

En la Tabla IV.1, se resume el modo de contacto de los diferentes tipos de gasificadores con el sólido.

Tabla IV.1. Modo de contacto del sólido con el gas

TIPO	MODO DE CONTACTO
Gasificador de lecho fijo (Downdraft)	El sólido y el gas circulan en la misma dirección, que es descendente
Gasificador de lecho fijo (Updraft)	El sólido y el gas circulan en dirección contraria. El sólido circula en dirección descendente y el gas circula en dirección ascendente.
Gasificador de lecho fluidizado (burbujeante)	La velocidad del gas es relativamente baja. Los sólidos inertes permanecen en el reactor. Un sólido inerte puede ser la arena.
Gasificador de lecho fluidizado (circulante)	Ocurre separación de sólidos en la corriente gaseosa. Los sólidos inertes son arrastrados, separados y recirculados al reactor.
Gasificador de lecho fluidizado (arrastrado)	La velocidad del gas es alta. Normalmente no existen sólidos inertes, la alta velocidad del gas genera elevadas velocidades de transformación.
Gasificadores paralelos o dobles	La gasificación se produce con vapor en el primer reactor y el carbón producido es transportado hacia el segundo reactor, donde ocurre la combustión para calentar el medio fluidizante de recirculación.
Gasificadores rotatorios	Nos proporcionan un buen contacto sólido-gas.



La práctica totalidad de los gasificadores existentes pertenecen a algunos de los tipos descritos en la tabla anterior.

Los gasificadores más utilizados para tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y Residuos Sólidos Industriales (RSI) son los rotatorios y los de lecho fluidizado.

Para el aprovechamiento energético de la biomasa, hecho que nos ocupa, la selección del tipo de gasificador que se va a emplear depende de la potencia que se desee. Los de lecho fluidizado se utilizan para instalaciones de gran escala, mientras que para pequeñas potencias se prefieren los de flujo concurrente o downdraft.

En la Tabla IV.2 se muestra la clasificación de los gasificadores, donde se resumen las principales características típicas de los gasificadores empleados (propulsados por aire), como la temperatura del gas de síntesis durante las reacciones químicas, la temperatura del gas de síntesis a la salida del gasificador, así como la cantidad a modo cuantitativo de los alquitranes y partículas que resultan. También se observa las capacidades de los diferentes gasificadores y el rango de potencia eléctrica a una eficiencia global del 36%.

Los gasificadores de lecho descendente o fijo, se pueden usar tanto con aire como con oxígeno y vapor de agua. El sólido se alimenta por la cabeza del gasificador. La extracción de cenizas suele hacerse por la parte inferior del lecho. La velocidad de descenso del lecho se regula mediante la extracción de cenizas, que se efectúa de modo continuo.

El gasificador de lecho fijo vertical tiene algunas ventajas sobre los otros tipos de gasificadores, incluyendo su simplicidad y los costes de inversión relativamente bajos. Sin embargo, este tipo de reactor es más sensible a las características mecánicas del combustible; requiere un combustible uniforme y homogéneo. Es posible operar un reactor de lecho



fijo vertical con un flujo contracorriente, con el aire y el gas subiendo a través del reactor.

Tabla IV.2. Principales características de los diferentes tipos de gasificadores

	Temperatura (°C)		Alquitrán	Partículas	Capacidad	MWe	
	Reacción	Gas salida			Máx. (t/h)	Mín.	Máx.
Lecho Fijo							
Downdraft	1000	800	m. bajo	moderado	1,5	0,1	2
Updraft	1000	250	m. alto	moderado	10	1	10
Lecho Fluidizado							
Reactor único	850	800	normal	alto	10	1	20
Lecho Rápido	850	850	bajo	m. alto	20	2	50
Lecho circulante	850	850	bajo	m. alto	20	2	100
Lecho arrastrado	1000	1000	bajo	m. alto	20	5	100
Reactores gemelos	800	700	alto	alto	10	2	50
Otros							
Horno rotatorio	800	800	alto	alto	10	2	30
Reactor ciclón	900	900	bajo	m. alto	5	1	10

- Gasificadores de lecho descendente o fijo en contracorriente (Updraft)

En estos gasificadores, el sólido desciende lentamente en contracorriente con la corriente de gas generada por la introducción de los agentes gasificantes (aire u oxígeno y vapor) por el fondo del gasificador. Según desciende el sólido, es calentado por la corriente ascendente de gas hasta llegar a la zona de combustión donde se alcanza la máxima temperatura, sufriendo un enfriamiento posterior previo a la descarga de escorias.

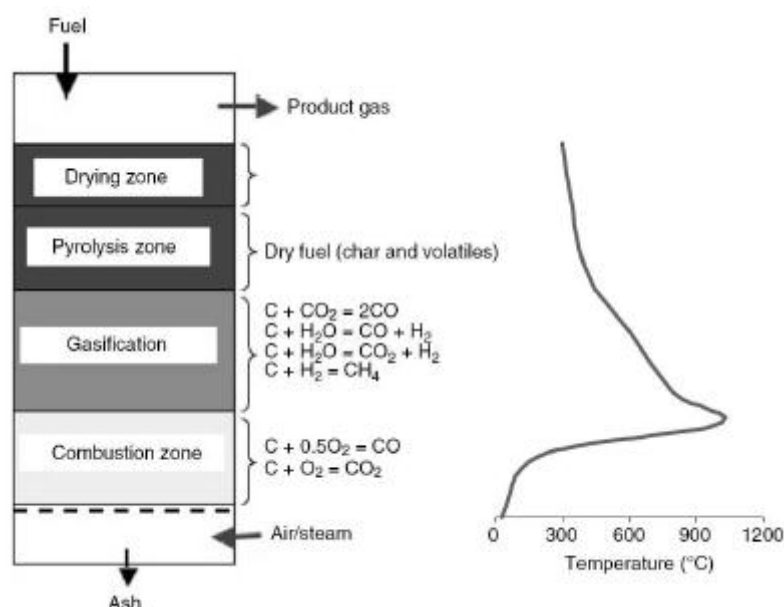
La temperatura en la zona de combustión está condicionada por la temperatura de fusión de las cenizas. La regulación de temperatura en el lecho se realiza mediante inyección de vapor. El



consumo de vapor es mucho más elevado en el caso de trabajar con cenizas secas. Debido a que la degasificación y devolatilización del sólido se realiza en una zona de baja temperatura de gases (entre 250 y 500 °C) no se produce la descomposición de los aceites, alquitranes y gases formados (fenoles, amoníaco, H₂S) obteniéndose un gas bastante contaminado.

La Figura IV.2 muestra las zonas de proceso de un gasificador de lecho fijo descendente Updraft).

Figura IV.2: Gasificador de lecho fijo Updraft



Fuente: McKendry, P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies, 2001.

- Gasificadores de lecho descendente o fijo en equicorriente (Downdraft)

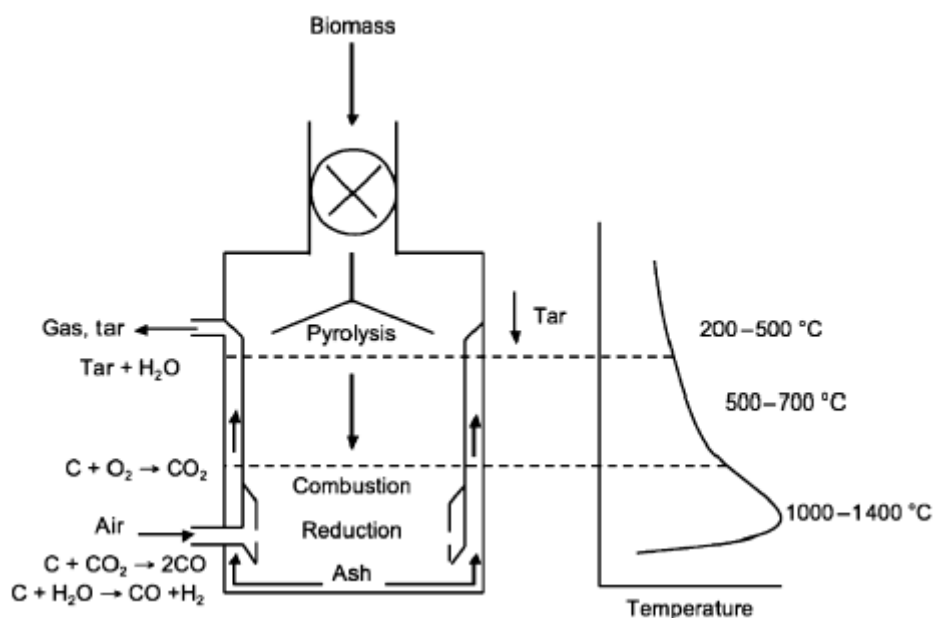
El sólido entra por la parte superior del reactor, experimentando sucesivamente los procesos de secado y pirólisis al ser sometido a un aumento progresivo de la temperatura.



Este perfil de temperaturas se debe al hecho que la conducción y radiación de calor a temperaturas suficientemente elevadas, tiene lugar desde la parte inferior, donde se está generando calor mediante combustión parcial de los productos que llegan hasta allí. Los gases, alquitranes y carbón continúan su camino descendente y llegan a la zona de oxidación a alta temperatura, en la que se queman o craquean una parte con el oxígeno introducido, proporcionando la energía necesaria para mantener térmicamente el proceso y empobreciendo la calidad del gas. Los productos reaccionan entre sí, a través de las reacciones de reducción, para aumentar la cantidad y calidad como combustible de la fase gaseosa.

La Figura IV.3 indica las zonas de proceso de un gasificador de lecho fijo descendente (Downdraft).

Figura IV.3: Gasificador de lecho fijo Downdraft



Fuente: McKendry, P. Energy production from biomass (part 3): gasification technologies, 2001.

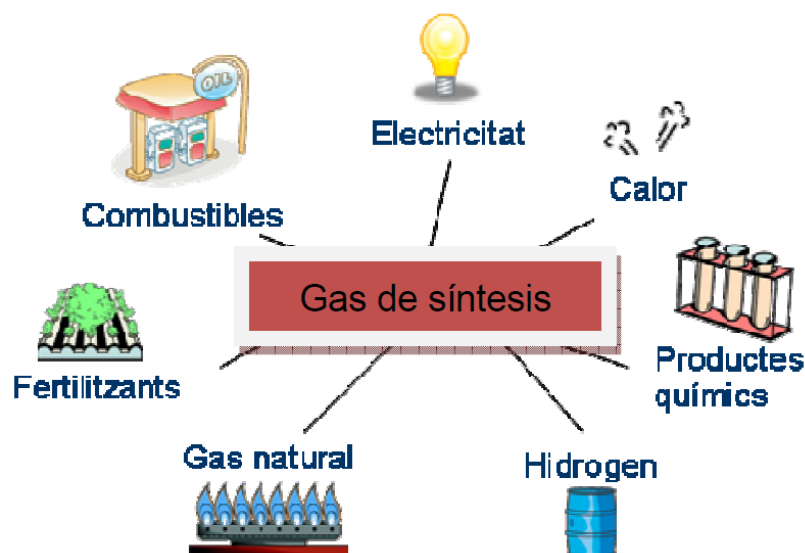


3. Aprovechamiento energético del gas resultante

Una de las ventajas más importantes del proceso de gasificación es la gran variedad de posibilidades a la hora de aprovechar el gas de síntesis para generar calor, productos químicos, combinado con gas natural como combustible, fertilizante, etc., pero el objetivo de este proyecto es generar electricidad. Para lograr este objetivo se realizará la combustión del gas obtenido. Existen diversas alternativas que podrían ser ordenadas de menor complejidad y eficiencia a más complejas y eficientes, como motores a gas, turbinas a gas y ciclo combinado (IGCC). Discutiremos la generación de electricidad a partir de los motores y las turbinas, ya que la generación eléctrica a partir de ciclo combinado es rentable a partir de potencias superiores a los 10 MWe.

En la Figura IV.4 se puede apreciar los distintos usos que se le pueden dar al gas de síntesis obtenido.

Figura IV.4: Distintos usos del gas obtenido



Fuente: Pérez-Fortes, M. *Biomass and Waste Gasification: Feasible contributions in Industrialised and Rural Areas*, 2008.



3.1 Cogeneración con motor alternativo de gas

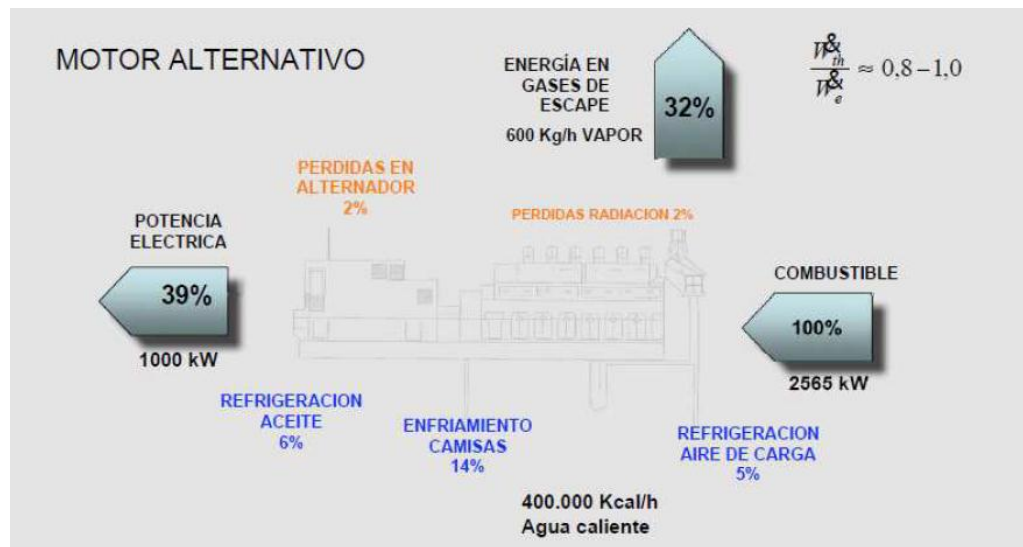
Los motores alternativos de combustión interna (MACI), se utilizan para la transformación de la energía de los combustibles en trabajo mecánico. Equipan prácticamente a todos los vehículos de transporte por carretera y tienen implantación en el sector naval, aeronáutico, industrial y de sistemas auxiliares. Son máquinas volumétricas y sus componentes básicos son el cilindro-pistón y el árbol cigüeñal, que mediante un sistema biela-manivela es el encargado de transformar el movimiento lineal del pistón sobre el cilindro en un movimiento rotatorio. Utilizan gas, gasóleo o fuel-oil como combustible. En general se basan en la producción de vapor a baja presión (hasta 10 bares), aceite térmico y en el aprovechamiento del circuito de agua de refrigeración de alta temperatura del motor. Son también adecuadas la producción de frío por absorción, bien a través del vapor generado con los gases en máquinas de doble efecto, o utilizando directamente el calor del agua de refrigeración en máquinas de simple efecto.

Este tipo de instalaciones es conveniente para potencias bajas (hasta 15 MW), en las que la generación eléctrica es muy importante en el peso del plan de negocio. Los motores diesel son la máquina térmica que más rendimiento eléctrico tiene, aunque hay motores de gas, que operan con sistemas de ignición forzada que proporcionan un rendimiento (en el eje del motor o mecánico) próximo al 48%. El límite del 50% está a la vuelta de la esquina para estos motores especializados en la producción de energía y calor.

El reparto de energía en una planta con motor alternativo es aproximadamente como muestra la Figura IV.5 (se ha representado el caso de un motor de gas del orden de 3 o 4 MW).



Figura IV.5. Flujos de energía en un motor de Gas



Fuente: Universidad Sevilla.

Los MACI tienen a su favor:

- Gran variedad de combustibles que pueden utilizar.
- Tecnología sencilla y bastante fiable por llevar mucho tiempo en el mercado.
- Arranque rápido (10s-15s).
- Un buen comportamiento a carga parcial y flexibilidad de funcionamiento, les permite responder de manera casi instantánea a las variaciones de potencia sin que conlleve un gran incremento en el consumo específico.
- Operación intermitente: facilidad para operar en condiciones de funcionamiento intermitentes y de carga variable.
- Fácilmente ampliables: Son equipos más modulares y con menos problemas para la operación en paralelo, que las turbinas y microturbinas de gas.
- Amplia gama de potencias que va desde 3 kW hasta 30MW.
- Relativa baja inversión por Kw de potencia instalado.
- Pueden funcionar con GN a baja presión (< 1 bar).
- Tareas de mantenimiento in situ, y de escasa complejidad.



Por el contrario, tienen los siguientes inconvenientes:

- Han de ser refrigerados, incluso aunque el calor residual no se aproveche.
- Baja relación potencia / peso (comparado con las Turbinas de Gas).
- Fuerzas internas no equilibradas, que requieren bancadas robustas y aislantes.
- Ruido de baja frecuencia.
- Costes de mantenimiento elevados.
- Su mayor inconveniente es la dificultad del aprovechamiento de calor, ya que no existe una única fuente de energía térmica, sino hasta cuatro:
 - Aceite ($< 95^{\circ}\text{C}$): entre 0,1 y 0,3 kWh por kWh generado.
 - Gases de escape ($< 650^{\circ}\text{C}$): del orden de 0,45 kWh por kWh generado.
 - Agua de refrigeración ($< 120^{\circ}\text{C}$): entre 0,5 y 0,8 kWh por kWh generado.
 - Aire de admisión (en motores turboalimentados) ($< 120^{\circ}\text{C}$): del orden de 0,05 kWh por kWh generado.
 - Pérdidas por radiación: del orden de 0,2 kWh por kWh generado.

Los gases de escape contienen aproximadamente un tercio de la energía del combustible, que puede ser usado para producir vapor (normalmente por debajo de los 25 bar), agua sobrecalentada y/o agua caliente. Algunas aplicaciones industriales usan directamente los gases de escape para procesos de secado, sin pasar esa energía a un fluido caloportador como es el vapor o el agua sobrecalentada. En otras el fluido que se utiliza como vehículo para transportar el calor es aceite térmico. Se emplean cuando se requieren altas temperaturas (200-250 °C) para el proceso.



Para el mejor aprovechamiento térmico del agua del motor, las fuentes de calor del mismo (refrigeración de camisas y culatas, refrigeración del aceite y refrigeración del aire a la salida del turbocompresor) se separan en dos corrientes. Una es el circuito de alta temperatura, integrado por la refrigeración del aire. Esta agua típicamente sale del motor a 90°C. La segunda corriente es el agua de baja temperatura, que integra la segunda etapa de refrigeración del aire de admisión y la refrigeración del aceite. La temperatura de salida de esta agua es del orden de 40 a 50°C.

El agua de refrigeración del aceite y de refrigeración del aire de admisión después de atravesar el turbocompresor suelen estar unidos y raramente se aprovechan, por su baja temperatura (30-40°C). En ocasiones, este calor se utiliza como precalentamiento del agua de circuito anterior. Normalmente se desecha y se vierte a la atmósfera con la ayuda de una torre de refrigeración o de un aerorefrigerador.

3.2 Cogeneración con turbina de gas

En los sistemas con turbina de gas se quema combustible en un turbogenerador. Parte de la energía se transforma en energía mecánica, que se transformará con la ayuda del alternador en energía eléctrica. Su rendimiento eléctrico es normalmente inferior al de los motores alternativos, pero presentan la ventaja de que permiten una recuperación fácil del calor, que se encuentra concentrado en su práctica totalidad en los gases de escape, que están a una temperatura de unos 500°C, idónea para producir vapor en un caldera de recuperación.

Cuando se presenta el denominado ciclo simple, el sistema consta de una turbina de gas y una caldera de recuperación, generándose vapor directamente a la presión de utilización en la planta de proceso asociada a la cogeneración. Su aplicación es adecuada cuando las necesidades de vapor son importantes (10 t/h), situación que se encuentra fácilmente en

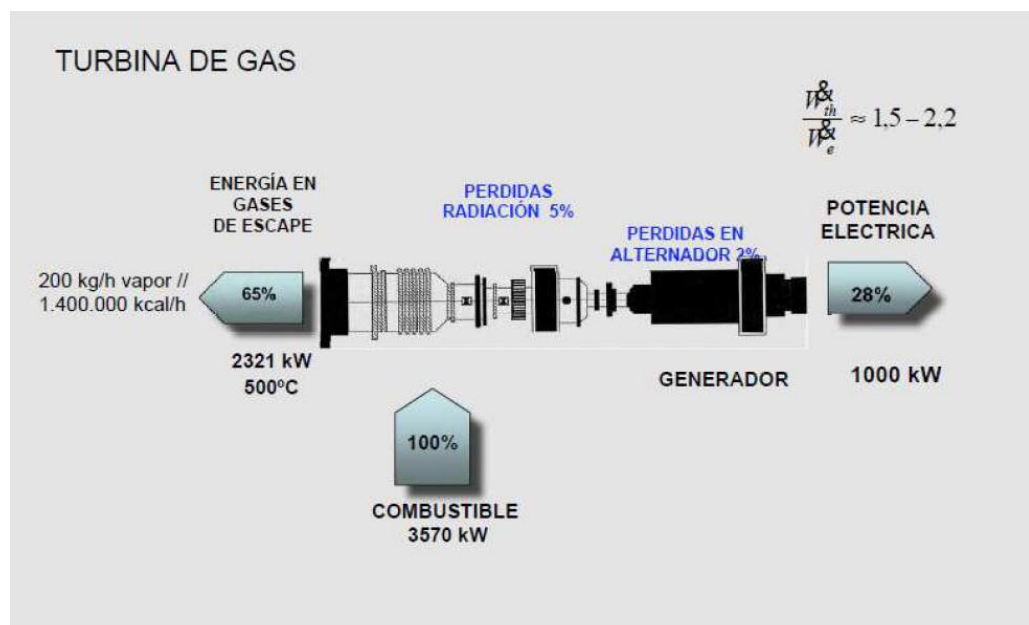


numerosas industrias (alimentación, química, papelera). Son plantas de gran fiabilidad y económicamente rentables a partir de un determinado tamaño y si tienen un importante número de horas de funcionamiento con demanda de calor continua.

Si la demanda de vapor (o calor de una forma más general) es mayor que la que pueden proporcionar los gases de escape, puede producirse una cantidad adicional utilizando un quemador especial, con el que cuenta la caldera. Esto puede hacerse porque los gases de escape son aún suficientemente ricos en oxígeno. Por el contrario, el escape de un motor alternativo tiene un contenido de oxígeno menor del que permite una combustión segura, por lo que es necesario enriquecerlo previamente con oxígeno, si se quiere hacer la post combustión, y ante esa dificultad, se suele optar por mantener caldera auxiliares de reserva para el caso de necesidades suplementarias de calor.

Los flujos de energía en una planta con turbina de gas son aproximadamente como muestra la Figura IV.6.

Figura IV.6. Flujos de energía en una Turbina de Gas



Fuente: Universidad Sevilla



El diseño del sistema de recuperación de calor es fundamental, pues su economía está directamente ligada al mismo, ya que el peso del mismo es mayor que en las plantas con motores alternativos.

Resumiendo, la turbina de gas presenta las siguientes ventajas:

- Alta fiabilidad que permite prolongados periodos de uso sin atención directa.
- Calor útil a temperatura elevada ($\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Elevada y estable velocidad de giro. Lo que permite un buen control de la frecuencia de la red.
- Alta relación potencia / peso.
- No requiere agua ni otro tipo de refrigeración.
- Coste de inversión (por kWe) relativamente bajo.
- Alta capacidad de uso como sistema multi combustible (gasóleo, LPG, gas natural, petróleo, etc.).

Y por el contrario, presenta los siguientes inconvenientes:

- Escasa disponibilidad de tamaños, dentro de un cierto rango de potencias.
- Rendimiento mecánico inferior a los motores alternativos (depende mucho del tamaño).
- Requiere suministro de gas a presión.
- Elevado nivel de ruido.
- Aunque pueden operar de modo continuo a baja carga, lo hacen con un rendimiento bajo.
- Necesitan combustible sin humedad.
- Sus prestaciones dependen mucho de la T ambiente.
- Pueden necesitar periodos de mantenimiento largos.



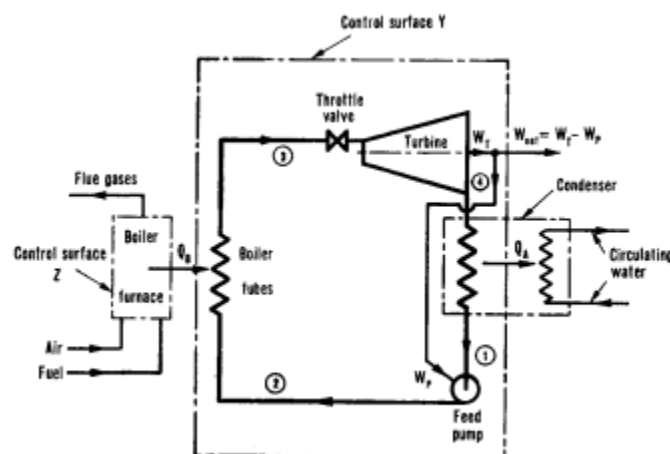
3.3 Cogeneración con turbina de vapor

En estos sistemas, la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. El uso de este ciclo fue el primero en cogeneración. Actualmente su aplicación ha quedado prácticamente limitada como complemento para ciclos combinados o en instalaciones que utilizan combustibles residuales, como biomasa y residuos. El principal inconveniente de las plantas de vapor para su aplicación en cogeneración, es su bajo rendimiento en comparación con los motores alternativos y las turbinas de gas. Ello es especialmente grave en el caso de que se extraiga calor del vapor de salida de la turbina, ya que se condiciona la presión (y con ello la temperatura) final de expansión, lo que afecta al rendimiento del ciclo.

Dependiendo de la presión de salida del vapor de la turbina se clasifican en turbinas a contrapresión, en donde esta presión está por encima de la atmosférica, y las turbinas a condensación, en las cuales ésta está por debajo de la atmosférica y han de estar provistas de un condensador.

El funcionamiento de una planta con turbina de vapor viene esquematizado en la Figura IV.7.

Figura IV.7. Diagrama de flujo de una turbina de vapor



Fuente: Universidad de Sevilla



Presenta las siguientes ventajas:

- Puede emplearse cualquier combustible.
- La relación calor/trabajo puede modificarse fácilmente.
- Pueden atenderse demandas de calor útil a diferentes temperaturas.
- Amplio intervalo de potencias.
- Tiempo de uso elevado.

Los inconvenientes de esta tecnología son:

- Relación calor/trabajo elevada.
- Coste de inversión elevado.
- Puesta en marcha lenta.

3.4 Cogeneración en ciclo combinado

La aplicación conjunta de una turbina de gas y una turbina de vapor es lo que se denomina ciclo combinado. Los gases de escape de la turbina atraviesan la caldera de recuperación, donde se produce vapor de alta presión. Este vapor se expande en una turbina de vapor produciendo una energía eléctrica adicional. El escape de la turbina será vapor de baja presión, que puede aprovecharse como tal o condensarse en un condensador presurizado, produciendo agua caliente o agua sobrecalentada, que será utilizada en la industria asociada. En este tipo de ciclo, si la demanda de calor disminuye, el vapor sobrante en el escape de la turbina puede condensarse, con lo que toda energía de los gases no se pierde sino que al menos se produce una cierta cantidad de electricidad.

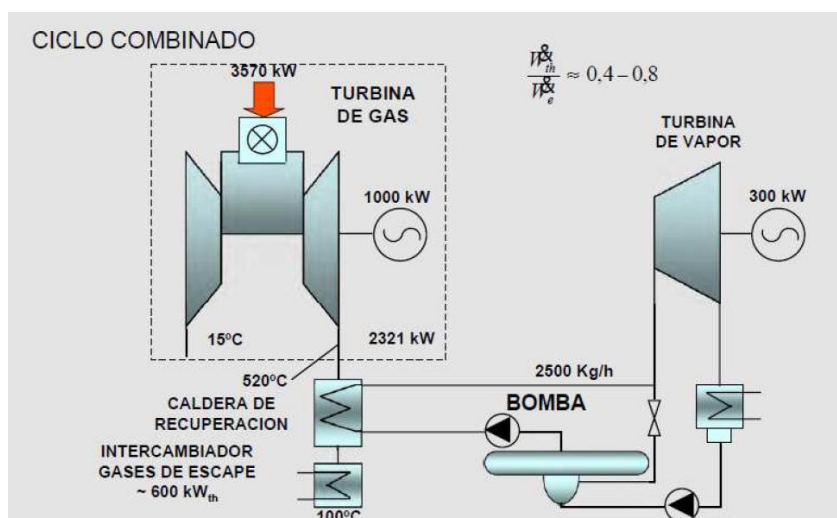
En un ciclo combinado con turbina de gas el proceso de vapor es esencial para lograr la eficiencia del mismo. La selección de la presión y la temperatura del vapor vivo se hace en función de las condiciones de los gases de escape de la turbina de gas y de las condiciones de vapor



necesarias para la fábrica. Por ello, se requiere una ingeniería apropiada capaz de diseñar procesos adaptados al consumo de la planta industrial asociada a la cogeneración, que al mismo tiempo dispongan de gran flexibilidad que posibilite su trabajo eficiente en situaciones alejadas del punto de diseño.

Los flujos de energía en una planta con ciclo combinado se muestran en la Figura IV.8.

Figura IV.8. Flujos de energía en un ciclo combinado de gas natural



Fuente: Universidad de Sevilla

3.5 Elección de la tecnología de cogeneración

La elección de la tecnología más apropiada para cada centro consumidor de energía, depende de una serie de factores como por ejemplo la potencia eléctrica que produce el grupo, la relación entre electricidad/calor, el nivel de temperaturas de la demanda térmica, la disponibilidad de combustibles, las fluctuaciones de la demanda térmica, etc.

La Tabla IV.3 muestra una comparación entre las posibles tecnologías para cogeneración según diversos factores para la selección de la tecnología más apropiada.



Tabla IV.3. Selección tecnología cogeneración

	MACI C.DIESEL	MACI C.OTTO	TURBINA DE VAPOR	TURBINA DE GAS		MICRO- TURBINA	PILA DE COMBUS- TIBLE
				CICLO SIMPLE	CICLO COMBINADO		
Rendimiento eléctrico	30-50	25-45	30-42	25-40	40-60	20-30	40-70
Rango potencia (MW)	0,01-30	0,15-5	---	3-200		0,025-0,25	0,2-2
Espacio requerido (m ² /kW)	0,02	0,02-0,03	<0,01	0,002-0,06		0,014-0,14	0,6-0,4
Coste instalación (€/kWe)	780-1480		780-950	670-860		480-1240	>2850
Coste OM* (€/kWh)	0,005-0,008	0,007-0,015	0,004	0,002-0,008		0,002-0,001	0,003-0,015
Disponibilidad (%)	90-95	92-97	100	90-98		90-98	>95
Mantenimiento	Anual	Anual	>50000 h	30000-50000 h		5000-40000 h	10000-40000 h
Tiempo arranque	10s	10s	1h-1día	10min-1h		60s	3h-2días
Combustible	Gasoil, aceites residuales	GN, biogás, propano	Todos	GN, biogás, propano, aceites destilados		GN, biogás, propano, aceites destilados	H ₂ , GN, propano
Presión combustible (bar)	<0,35	0,07-3	---	8,5-35		03-jul	0,04-3
Ruido	Moderado a alto (requiere edificio cerrado)	Moderado a alto (requiere edificio cerrado)	Moderado a alto (requiere edificio cerrado)	Alto (requiere edificio cerrado)		Moderado a alto (requiere edificio cerrado)	Bajo (no requiere aislamiento)
Nox (kg/MWh)	1,36-15	1-12,7	0,82	0,14-1,82		0,18-1	0,09
Uso calor recuperado	AC, vapor BP, 'district heating'	AC, vapor BP, 'district heating'	Vapor BP-AP, 'district heating'	Calor directo, AC, vapor BP-AP, 'district heating'		Calor directo, AC, vapor BP	AC, vapor BP
Temperatura aprovechable (°C)	82-480	150-260	---	260-595		205-345	60-370

Fuente: Review of Combined Heat and Power Thechnologies

Todos los factores técnicos se transforman, al fin y al cabo, en económicos. Para comparar estas dos opciones se ha tomado como referencia los valores de eficiencia eléctrica (motores y turbinas) y el coste



específico (€/kWe) de cada una de las alternativas. Además de ellos hay que considerar un factor puramente financiero: la inversión.

No hay grandes diferencias en la inversión de una planta con motores y turbinas intermedias (10 MW); no obstante, la inversión en plantas pequeñas (0,5-4 MW) es bastante mayor con turbinas de gas que con motores. En plantas con turbinas el coste por MW aumenta a bastante velocidad por debajo de 5 MW, mientras que en motores se mantiene bastante constante el coste por MW, incluso para 2 o 3 MW.

En este caso, para el rango de potencias considerado, en torno a 2 MW, los MACI son una mejor solución para la cogeneración que las TG debido principalmente a los menores costes de equipo y al mayor rendimiento eléctrico.

3.6 Otras alternativas

Tanto las microturbinas como las pilas de combustibles son tecnologías que, cuando se encuentren un poco más desarrolladas tecnológicamente, podrían llegar a competir con los motores alternativos y las turbinas.

3.6.1 Microturbinas

Las microturbinas se están extendiendo para la generación distribuida y para aplicaciones de calor y potencias combinadas con gas de síntesis. Es una de las tecnologías más prometedoras para alimentar vehículos eléctricos híbridos. Tiene un amplio rango de aplicación desde unidades que producen menos de un kW, a sistemas comerciales que producen decenas o centenares de kW. Parte de su éxito es gracias a los avances en electrónica, que permite



el funcionamiento con la red eléctrica pública. La tecnología de conmutación de potencia elimina la necesidad que el generador se sincronice con la red.

Los sistemas de microturbina tienen muchas ventajas respecto al motor alternativo, como una densidad de potencia más alta (respecto de la superficie ocupada), emisiones extremadamente bajas y pocas partes móviles. Las eficiencias típicas de las microturbinas son dentro del rango del 25-35 %.

3.6.2 Pilas de combustible

La gasificación de biomasa ha atraído un reciente interés como una fuente de combustible rico en hidrógeno para su uso en las celdas de combustibles. Las altas eficiencias de las celdas de combustible las hacen potencialmente atractivas para aplicaciones de generación distribuida. Actualmente, las especificaciones de calidad del gas obtenido con combustibles de la biomasa para celdas de combustibles no están muy documentadas. Esto es debido en parte a la naturaleza emergente de esta tecnología en las celdas de combustible y el reciente interés en gases provenientes de la biomasa para esta aplicación.

Ciertos tipos de celdas de combustible como las alcalinas o las de ácido fosfórico se han utilizado durante muchos años para aplicaciones especializadas o en demostraciones pre-comerciales de generación de electricidad. Las de tipo alcalina estaban diseñadas inicialmente para operar con hidrógeno purificado y oxígeno en vehículos espaciales.

Los tipos más nuevos de celdas de combustible son las de óxido sólido, Membrana de Intercambio Protónico (PEM), y las de carbonatos fundidos que también están disponibles comercialmente o acostándose a esta posibilidad.



En todos los casos en los que los gasificadores de biomasa se acoplen con celdas de combustibles, se exigirá una eliminación eficaz de partículas y alquitranes de la corriente de gases. Las altas sensibilidades de las de tipo alcalina y PEM al CO y CO₂, las descartan para su uso con sistemas de gasificación de biomasa. Las celdas de combustible de ácido fosfórico están comercialmente disponibles y tienen tolerancias más altas para el CO, pero su uso en gasificación de biomasa exigirá la eliminación de CO. Las de tipos carbonatos fundidos y óxidos sólidos tienen poca sensibilidad a estas componentes y son potencialmente adecuadas para su uso con gasificadores de biomasa. Las celdas de combustibles de carbonatos fundidos se han hecho servir recientemente en pruebas de larga duración. Este tipo de celda permite la presencia de aire y nitrógeno en el gas de combustión, así pueden ser una opción en caso de tener una alimentación de aire en el gasificador.

Como muestra la Tabla IV.4, las demandas de calidad del gas de combustión varían ampliamente para cada tipo de celda de combustible. Es importante fijarse que los requisitos listados en la tabla, se refieren a los gases que entran en la celda de combustible donde tiene lugar la generación eléctrica.

**Tabla IV.4. Características generales de las celdas de combustibles**

Celdas de combustibles	Temperatura de operación (°C)	Concentraciones permisibles de los constituyentes			
		CO	CO ₂	Sulfuros	Hidrocarburos
PEM	80	<5 ppm	<50 ppm	<1 ppm	Restringido ^a
Alcalinos	120	<50 ppm ^b	50 ppm ^b	<1 ppm	<300 ppm
Ácido fosfórico	200	< 1%	Disolvente ^c	<1 ppm	Disolvente ^c
Carbonatos fundidos	650	No restringido ^d	No restringido ^d	<0,5 ppm	<10% ^e
Óxido sólido	1000	No restringido ^d	No restringido ^d	<1 ppm	<10% ^e

a: variable en función de la construcción, generalmente <100 ppm

b: concentración total de CO+CO₂ < 50 ppm. Celda particularmente sensible al CO₂

c: sirve principalmente como disolvente, preferiblemente bajas concentraciones

d: no restringido dentro del rango de valores típicos de la gasificación

e: concentraciones más elevadas en la pila, tiene un impacto económico debido a efectos de dilución.

Fuente: Pérez-Fortes, M. Biomass and Waste Gasification: Feasible contributions in Industrialised and Rural Areas, 2008.

Mientras se sigue investigando detalladamente, los requisitos básicos para la eliminación de partículas sólidas como los alquitranes del gas de síntesis, serán similares tanto para los sistemas de gasificación y celdas de combustible.

En conclusión se podría decir que la investigación en este campo está todavía empezando y la segunda fase de este proyecto sería la consolidación del H₂ que proviene del gas de síntesis en pilas de combustibles.



4. Alquitranes

Los alquitranes son una mezcla compleja de hidrocarburos condensables de alto peso molecular. Estos pueden causar problemas operacionales en el proceso aguas abajo, mediante la asfixia y desgaste de los equipos, así que control y eliminación es un tema clave para una aplicación exitosa del piloto de gasificación. Los alquitranes se forman en el reactor (gasificador) y cuenta con un amplio espectro de compuestos orgánicos, generalmente constituidos por varios anillos aromáticos. Una clasificación simple de los alquitranes, sería distinguirlos en alquitranes pesados y alquitranes ligeros.

4.1 Alquitranes pesados

Los alquitranes pesados se condensan a medida que baja la temperatura del gas y pueden causar daños importantes como la pérdida de eficiencia y paradas no programadas. El punto de rocío del alquitrán es un factor crítico.

En la Figura IV.9 se puede apreciar el daño que ocasiona la acumulación de los alquitranes pesados en una rejilla de un lavador húmedo.

Figura IV.9: Alquitrán pesado acumulado.



Fuente: www.olgatechnology.com



4.2 Alquitranes ligeros

Los alquitranes ligeros como el fenol o naftaleno tienen una influencia limitada en el punto de rocío del alquitrán. Los alquitranes heterocíclicos como el fenol son muy solubles en agua. El naftaleno es importante, ya que cristalizan en la entrada de los motores de gas, provocando una alta demanda de mantenimiento.

En la Figura IV.10, se puede apreciar la cristalización del naftaleno en un motor de gas con válvula de control.

Figura IV.10: Cristalización del naftaleno en un motor a gas



Fuente: www.olgatechnology.com



4.3 Clasificación de los alquitranes

En el año 1998 la Unión Europea, IEA y la DOE, normalizaron la clasificación de los alquitranes en función del peso molecular mayor al benceno.

La Tabla IV.5 muestra la clasificación de los alquitranes.

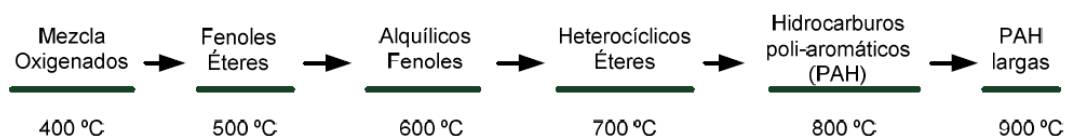
Tabla IV.5. Clasificación de los alquitranes

Clase	Tipo	Ejemplos
1	Alquitranes no detectados por la cromatografía de gases.	Fragmentos de la biomasa.
2	Compuestos heterocíclicos. Generalmente estos componentes presentan alta solubilidad en agua.	Fenol, cresol, quinolina y piridina.
3	Componentes aromáticos. Hidrocarburos ligeros.	Tolueno, xileno y etilbenceno; con exclusión de benceno.
4	Hidrocarburos ligeros poli-aromáticos (PAH 2-3 anillos). Estos componentes condensan en concentraciones relativamente altas y temperaturas intermedias.	Naftaleno, indeno, bifenilo y antraceno.
5	Hidrocarburos poli-aromáticos (PAH ≥ 4 anillos). Estos componentes condensan a temperatura relativamente alta y bajas concentraciones ($< 1\text{mg/Nm}^3$).	Fluoranteno, pireno y crysene.

Fuente: Maniatis K., Beenackers AACM, Tar Protocols, IEA, 2008.

En la Figura IV.11, se muestra un esquema del proceso de formación de los alquitranes en función de la temperatura, propuesto por Elliott.

Figura IV.11: Régimen de maduración de los alquitranes.



Fuente: Elliott DC., Relation of reaction time and temperature to chemical composition of pyrolysis oils, In: Soltes EJ, Milne TA, editors, 1988.



4.4 Punto de rocío de los alquitranes

El punto de rocío del alquitrán, es un parámetro crítico que determina la temperatura mínima de las reacciones químicas del proceso. Así también el punto de rocío define el punto en que estos empiezan a ser problemáticos. Los típicos puntos de rocío del alquitrán son entre 150 y 350 °C .

4.5 Formas básicas de eliminar los alquitranes

Hay dos formas básicamente de destruir los alquitranes: por craqueo catalítico y por craqueo térmico (por oxidación parcial o por contacto térmico directo).

- Craqueo catalítico: a temperaturas de 800-900 °C. Normalmente se lleva a cabo en un reactor a parte después del gasificador, con dolomita o níquel.

La eficiencia de eliminación de alquitranes es del 90-95%. La dolomita es un catalizador efectivo y económico, siendo necesario del orden de 0,03 kg/Nm³ de gas crudo.

El craqueo catalítico puede llevarse a cabo tanto en el propio gasificador, si es de lecho fluidizado, añadiendo el catalizador al lecho. Esta solución utiliza la temperatura y calor del gasificador, pero la vida del catalizador no es muy prolongada. Con un reactor secundario, el catalizador se protege con anti desactivadores pero requiere añadir oxígeno para oxidar el gas y aumentar la temperatura.

- Craqueo térmico: ocurre a temperaturas entre 800-1000°C. Sin embargo, los alquitranes de biomasa son más difíciles de craquear por este camino pues son muy estables y refractarios. Es muy efectivo a temperaturas 1300°C. En los gasificadores de lecho fijo se



utilizan dos diferentes aproximaciones competitivas para éste craqueo: el uso de altas temperaturas del corazón del lecho y/o el aumento del tiempo de residencia de los gases.

Se puede utilizar el lavado de gas como método efectivo de separación de los alquitranes de la corriente gaseosa (eliminación de alquitranes por vía húmeda). Los alquitranes requieren una captura física con coalescencia, más que una simple condensación. Se necesita una disminución de temperatura para la condensación de gotas de agua en las partículas de alquitrán, incrementando su tamaño, y facilitando el proceso de aglomeración y coalescencia.

5. Selección del gasificador

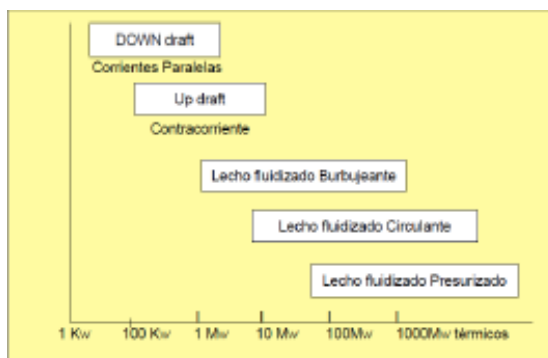
La elección de un tipo u otro de gasificador depende de varios factores, entre los que destacan:

- Las características de la biomasa: tamaño, densidad...

Entre ellas se encuentra el análisis elemental, que condiciona la proporción óptima agente gasificante/biomasa. El contenido en cenizas determina la cantidad de sólido residual que es necesario retirar del gasificador, por unidad de masa procesada. El tamaño de la partícula influye en el tiempo para que el proceso tenga lugar y por tanto, en el volumen del reactor adecuado.

- La capacidad del procesamiento
- La calidad del gas a obtener
- La facilidad de construcción y operación
- Los costes de mantenimiento

En la Figura IV.12, se puede observar el rango de operación típico de los principales gasificadores:

**Figura IV.12. Rangos de operación**

De forma general, se puede decir que los gasificadores tipo downdraft resultan adecuados para aplicaciones donde se requiera una generación de energía descentralizada para pequeños núcleos de población, o bien pequeñas industrias en el rango de hasta varios MWe, con posibilidad de utilizar el gas pobre tanto para fines térmicos como para la generación de electricidad. Esta tecnología permite una relativa flexibilidad en cuanto al tipo de biomasa que puede procesar. Además, la necesidad de obtener un gas libre de alquitranes para poder introducirlo en un motor de combustión interna, hace que esta sea la alternativa escogida para la planta.

ANEXO V: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS



Índice

Índice de tablas.....	I-210
1. Astilladora Eschlböck Biber-3	I-211
1.1 Datos técnicos	I-211
1.2 Dimensiones y peso	I-211
2. Trommel de secado AYPE.....	I-212
2.1 Datos técnicos	I-212
2.2 Dimensiones	I-213
3. Gasificador Ankur WBG-1250.....	I-214
3.1 Datos técnicos	I-214
3.2 Equipos para el acondicionamiento del gas.....	I-215
3.3 Dimensiones	I-215
4. Grupo motogenerador Jenbacher JMS 612 GS-B.L.	I-216
4.1 Datos técnicos	I-216
4.2 Dimensiones y pesos.....	I-220
4.3 Motor a gas Otto	I-222
4.3.1 Equipos del motor	I-225
4.3.2 Sistema de refrigeración del motor.....	I-225
4.3.3 Circuito de aceite.....	I-226
4.4 Alternador síncrono trifásico autorregulado	I-227



4.5	Equipamiento del módulo	I-229
4.5.1	Alimentación de gas combustible	I-231
4.5.2	Dispositivo de arranque.....	I-231
4.5.3	Conexiones Elásticas	I-233
4.5.4	Silenciador	I-233
4.5.5	Sistema de ventilación	I-234
4.5.6	Container.....	I-235
4.6	Armarios de control.....	I-237
4.6.1	Armario de control del módulo	I-238
4.6.2	Armario de potencia	I-243
4.6.3	Central detectora de gas	I-244
4.6.4	Central detectora de humo.....	I-244
5.	Transformador Vegeta HE	I-245
5.1	Características técnicas.....	I-245
5.1.1	Circuito magnético.....	I-245
5.1.2	Bobinado de baja tensión.....	I-246
5.1.3	Bobinado de alta tensión.....	I-247
5.1.4	Parte activa	I-247
5.1.5	Cuba.....	I-248
5.2	Dimensiones	I-249



Índice de tablas

Tabla V.1. Características astilladora	I-211
Tabla V.2. Dimensiones y peso astilladora	I-211
Tabla V.3. Características trommel secado	I-212
Tabla V.4. Dimensiones trommel secado	I-213
Tabla V.5. Características gasificador	I-214
Tabla V.6. Dimensiones gasificador.....	I-215
Tabla V.7. Características módulo de cogeneración.....	I-216
Tabla V.8. Características motor.....	I-217
Tabla V.9. Características alternador.....	I-217
Tabla V.10. Sistema de recuperación de energía térmica	I-218
Tabla V.11. Dimensiones módulo	I-220
Tabla V.12. Dimensiones y peso del motor	I-220
Tabla V.13. Dimensiones del módulo de recuperación de calor	I-221
Tabla V.14. Dimensiones del contenedor	I-221
Tabla V.15. Características transformador	I-245
Tabla V.16. Dimensiones y peso transformador	I-249



1. Astilladora Eschlböck Biber-3

1.1 Datos técnicos

Tabla V.1. Características astilladora

Modelo	Eschlböck Biber-3
Número de cuchillas	3
Tamaño de la astilla	10-25 mm
Potencia	30-50 kW
rpm	540-1000

1.2 Dimensiones y peso

Tabla V.2. Dimensiones y peso astilladora

Ancho (mm)	2.380
Largo (mm)	1.550
Alto (mm)	3.150
Peso (kg)	1.100



2. Trommel de secado AYPE

2.1 Datos técnicos

Tabla V.3. Características trommel secado

Trommel AYPE con sistema ECOFIBER	
Temperatura de aire de secado a la entrada (°C)	350
Temperatura de aire de secado a la salida (°C)	100
Capacidad máxima de evaporación (l/h)	600
Consumo térmico máximo (kcal/h)	300.000
Potencia motor eléctrico (kW)	10
Caudal aire de secado (kg/h)	1.800

El conjunto del secadero trommel estará formado por una serie de elementos que se describen a continuación:

- Bancada soporte.
- Tambor rotativo de 1.034 mm. de diámetro interior útil.
- Sistema interior de palas.
- Sistema de volteadores interiores.
- Cono de salida del producto
- Sistema de estanqueidad entre trommel y tubería de decantación.
- Sistema de aislamiento térmico y acústico de la parte cilíndrica del trommel.



A la salida del trommel se dispone de un cajón de decantación del producto que no sea válido para la entrada al gasificador.

2.2 Dimensiones

Tabla V.4. Dimensiones trommel secado

Longitud	16000 mm
Ancho	3.400 mm
Altura	5.700 mm



3. Gasificador Ankur WBG-1250

3.1 Datos técnicos

Tabla V.5. Características gasificador

Especificaciones combustible	
Tamaño (mm)	Mínimo
	Diámetro: 10 mm; Longitud: 10 mm
	Máximo
	Diámetro: 75 mm, Longitud: 75 mm
Contenido humedad (%)	< 15 %
Salida gasificador	
Caudal nominal (Nm ³ /h)	2.812,50
Poder Calorífico Medio (kcal/Nm ³)	>1.100
Salida Térmica Nominal (kcal/h)	3.093.750
Consumo de biomasa (kg/h)	1.125
Temperatura gasificación (°C)	1.000-1.100
Temperatura gas salida (°C)	400-500



3.2 Equipos para el acondicionamiento del gas

Un multiciclón en seco

Un intercambiador de temperatura aire/aire

Un scrubber de agua en circuito cerrado, el caudal del syngas hacia el motor. Una válvula motorizada controlada por un transductor en el cuadro eléctrico regula el caudal en base a la carga eléctrica requerida en la instalación (conexión en red o funcionamiento en isla)

Un compresor con nebulizador de agua

Un ciclón de separador de agua, detiene las partículas grandes que son arrastradas por el gas generado en el gasificador.

Un condensador

Dos filtros de biomasa

Un filtro de mangas

3.3 Dimensiones

Para realizar la distribución en planta de forma más sencilla, se consideran las dimensiones ocupadas por el conjunto de equipos que conforman el grupo gasificador.

Tabla V.6. Dimensiones gasificador

Longitud	20.200 mm
Anchura	9.500 mm
Altura	11.032 mm



4. Grupo motogenerador Jenbacher JMS 612 GS-B.L.

4.1 Datos técnicos

Las siguientes tablas, proporcionadas por el grupo General Electric, muestran las principales características técnicas del grupo motogenerador.

TablaV.7. Características módulo de cogeneración

Módulo de cogeneración		
Energía eléctrica producida	kWe	1.458
Energía térmica recuperable	kW	1.648
Entrada de energía	kW	3.664
Consumo de combustible	Nm ³ /h	733
Rendimiento eléctrico	%	39,8
Rendimiento térmico	%	45
Rendimiento total	%	84,8
Valores de emisión	NO _x < 500 mg/Nm ³ (5%O ₂)	



Tabla V.8. Características motor

Motor		
Tipo de motor		J 612 GS-E21
Configuración		V 60°
Número de cilindros		12
Taladro	mm	190
Carrera	mm	220
Desplazamiento del pistón	lit	74,85
Velocidad nominal	rpm	1.500
Velocidad media pistón	m/s	11
Presión media efectiva a potencia y velocidad nominal	bar	16
Ratio compresión	Epsilon	11
Potencia continua ISO estándar ICFN	kW	1.497
Consumo específico de combustible	kWh/kWh	2,45
Consumo específico de aceite	g/kWh	0,3
Peso en seco	kg	7.800
Capacidad de aceite lubricado (cambio)	lit	400
Número de metano de referencia	MZ	100

Tabla V.9. Características alternador

Alternador		
Fabricante		Leroy-Somer
Tipo		LSAC 52.2 L70
Potencia tipo	kVA	2.100
Rendimiento con $\cos \phi = 1,0$	%	97,4
Rendimiento con $\cos \phi = 0,8$	%	96,4
Potencia efectiva nominal con $\cos \phi = 1,0$	kW	1.458
Potencia efectiva nominal con $\cos \phi = 0,8$	kW	1.443
Frecuencia	Hz	50
Tensión	V	690
Clase de protección		IP 23
Clase de aislamiento		H
Velocidad	rpm	1.500
Peso	kg	4.425



Tabla V.10. Sistema de recuperación de energía térmica

Sistema recuperación energía térmica		
Nivel de ruido a 1 m del motor	dB	100
Nivel de ruido de los gases de escape	dB	116
Masa de los gases de escape, húmedos	kg/h	8.614
Volumen gases de escape, húmedos	Nm ³ /h	6.696
Máxima presión admitida de los gases tras el motor	mbar	60
Temperatura de los gases de escape a carga completa	°C	485
Masa de aire combustión	Kg/h	7.959
Volumen aire combustión	Nm ³ /h	6.157
Enfriamiento máximo del agua de entrada	°C	60
Máxima caída de presión en la admisión del filtro de aire	mbar	10
Temperatura de retorno	°C	60
Temperatura de salida	°C	90
Caudal de agua caliente	m ³ /h	47,2

Todos los valores indicados en la especificación técnica se refieren a un funcionamiento del motor a plena carga (salvo otras referencias explícitamente indicadas), así como a las temperaturas y al número de metano indicados. Los valores quedan sujetos a cambios debidos al desarrollo técnico.

Las presiones indicadas se entienden siempre como efectivas.

El sistema de encendido de los motores de gas cumple las normas de radiointerferencias CISPR 12 (30-75 MHz, 75-400 MHz, 400-1000 MHz) y EN 55011, clase B (30-230 MHz, 230-1000 MHz), respectivamente.

Potencia estándar ISO (bloqueada, ICFN)

Potencia útil continua del motor a velocidad nominal, especificada por el fabricante, disponible en el tiempo entre las intervenciones de



mantenimiento prescritas, verificada en la bancada de ensayos del fabricante, en condiciones de servicio de la misma y convertida a condiciones de referencia estándar.

Condiciones de referencia estándar

Presión atmosférica: 1000 mbar (100 m sobre el nivel del mar)

Temperatura de aire: 25 °C

Humedad relativa: 30 %

Datos del volumen en condiciones normales (gas combustible, aire de la mezcla, gases de escape)

Presión 1013 mbar

Temperatura 0 °C

Reducción de potencia para motores turboalimentados

Diseño estándar de los motores para alturas ≤ 500 m y temperaturas de aspiración ≤ 30 °C

En el caso de que el número de metano sea inferior al número de metano indicado en la especificación técnica, el sistema "motormanagement" permite mantener la potencia nominal mediante el ajuste del punto de encendido, con el fin de proteger el motor contra detonaciones incontroladas. Sólo cuando el número de metano sigue bajando, se reducirá la potencia del motor paulatinamente para evitar detonaciones incontroladas.

Condiciones técnicas para motores a gas de GE Jenbacher

En relación con la vibración la instalación está diseñada en base a la ISO 8528-9 y mantiene los valores límites contenidos en ella.



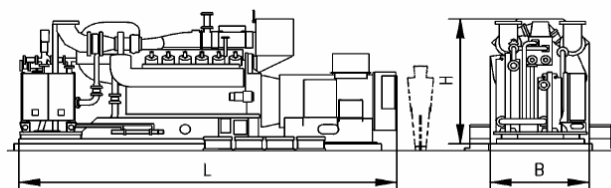
Las "Instrucciones Técnicas de GE JENBACHER", IT 1100-0110, IT 1100-0111 y IT 1100-0112 forman parte íntegra de la oferta y del contrato y deben ser cumplidas.

4.2 Dimensiones y pesos

En las tablas V.11, V.12 y V.13 se adjuntan las especificaciones dadas por Jenbacher para las dimensiones y pesos del módulo, motor y módulo de recuperación de calor respectivamente.

Tabla V.11. Dimensiones módulo

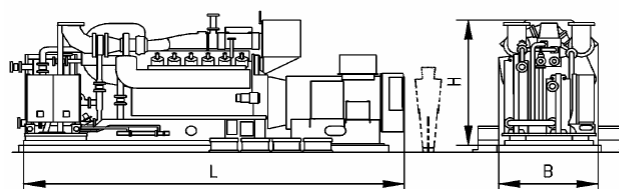
Module



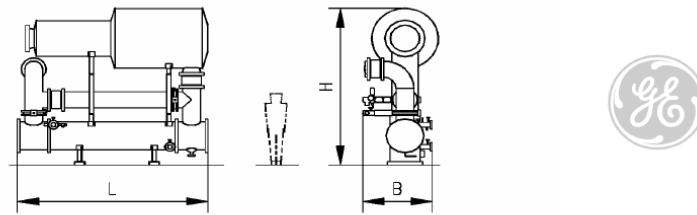
Main dimensions and weights (approximate value)			Connections (at module)		
Length L	mm	7.600	Hot water inlet and outlet	DN/PN	100/10
Width B	mm	2.200	Exhaust gas outlet	DN/PN	500/10
Height H	mm	2.800	Fuel gas (at gas train)	DN/PN	100-150/16
Weight empty	kg	18.900	Intercooler water connection:		
Weight filled	kg	19.900	Intercooler water-Inlet/Outlet 2nd stage	DN/PN	65/10

Tabla V.12. Dimensiones y peso del motor

Genset



Main dimensions and weights (approximate value)			Connections (at genset)		
Length L	mm	7.600	Jacket water inlet and outlet	DN/PN	100/10
Width B	mm	2.200	Exhaust gas outlet	DN/PN	500/10
Height H	mm	2.800	Fuel gas (at gas train)	DN/PN	100-150/16
Weight empty	kg	18.400	Intercooler water connection:		
Weight filled	kg	19.400	Low Temperature Circuit	DN/PN	65/10

**Tabla V.13. Dimensiones del módulo de recuperación de calor****Heat recovery module**

Main dimensions and weights (approximate value)			Connections (on heat recovery module)		
Width B	mm	1.800	Hot water inlet and outlet	DN/PN	100/10
Height H	mm	4.158	Exhaust gas outlet	DN/PN	500/10
Length L	mm	5.600	Condensate drain	DN/PN	50/10
			Drain line	1/2"	1/2"

En cuanto a especificaciones de diseño y distribución en planta, al estar todos estos elementos anteriores comprendidos dentro del contenedor, serán las dimensiones del contenedor, incluidas en la Tabla V.14, las que se tendrán en cuenta para el diseño.

Tabla V.14. Dimensiones del contenedor

Ancho (mm)	16.000
Largo (mm)	8.000
Alto (mm)	5.000



4.3 Motor a gas Otto

Motor a gas OTTO, de cuatro tiempos, con turboalimentación de mezcla y refrigeración de la misma, con sistema de encendido de rendimiento elevado y regulación electrónica para la formación de la mezcla y para el encendido de antecámara, trabajando según el principio de COMBUSTION DE MEZCLA POBRE "LEANOX" desarrollado y patentado por GE JENBACHER.

Construcción del motor

Bloque de motor

Cárter y bloque de cilindros fundidos en una pieza, disponiendo de tapas laterales para facilitar la inspección del motor.

Cigüeñal y cojinetes principales

Cigüeñal forjado en estampa, rectificado fino, superficie templada, equilibrado estático y dinámico, con cojinetes entre cilindros. Cojinetes principales (semicojinete superior: cojinete trimetálico / smicojinete inferior: cojinete metalizado por bombardeo iónico), taladros para lubricación forzada para bielas.

Amortiguador de vibraciones

Amortiguador de viscosa, libre de mantenimiento

Volante

Volante bipartido de acero con corona dentada zunchada para el arrancador

Pistones

Pistón de aluminio de una pieza con portaanillos y ranura para aceite refrigerante. Segmentos y aros de escurrido de material selecto, cámara de combustión de diseño especial para obtener emisiones mínimas con combustión de mezcla pobre.



Bielas

Forjadas en estampa, templadas, sección biselada, cojinete de biela (semicojinete superior: cojinete metalizado por bombardeo iónico / semicojinete inferior: cojinete ranurado) y semicojinete para bulón.

Camisas

Fundición gris con aleación de Cr, refrigeración por agua, cambiables

Culatas

Diseñadas y desarrolladas para motores de GE JENBACHER que trabajan con combustión de mezcla pobre para obtener emisiones y pérdidas reducidas; Refrigeradas por agua; Fabricados de fundición especial; Cambiables individualmente; Asientos de válvula, guías y casquillos de bujías insertados a presión; Cada culata lleva una válvula de admisión y una de escape de material de alta calidad.

Ventilación del cárter

Con recirculación en el tramo de admisión

Accionamiento de válvulas

A partir del cigüeñal por árbol de levas (con cojinetes cambiables) y engranaje intermedio, lubricación de las válvulas por aspersión de aceite desde los balancines

Preparación de la mezcla

Mezclador, turboalimentación, tuberías de mezcla con compensadores, refrigeración por agua, válvula de estrangulación, vías de aspiración hacia los cilindros

Sistema de encendido

Modernísimo sistema electrónico de rendimiento elevado, sin contactos móviles



Sistema de lubricación

Aceite a presión filtrado llega a todas las partes móviles. El circuito de lubricación incluye una bomba de engranajes, válvulas de regulación y de seguridad, cartuchos de filtro cambiables. La refrigeración del aceite se efectúa por intercambiador de calor aceite/agua

Sistema de refrigeración del motor

Bomba accionada, con todas las tuberías necesarias

Sistema de escape

Colectores, turboalimentador

Medición de la temperatura de escape

Por termoelemento en cada culata

Elemento de mando eléctrico

Para control electrónico de velocidad/potencia

Verificación electrónica de velocidad para el control de velocidad/potencia

Con receptor de impulsos por inducción magnética sobre la corona dentada del volante

Motor de arranque

Arrancador eléctrico con piñón (movido axialmente), montado en el motor



4.3.1 Equipos del motor

Aislamiento de los colectores de los gases de escape

Los colectores de los gases de escape son aislados con mantas de lana de vidrio, fáciles de montar y desmontar

Sensores instalados en el motor

- Detector de temperatura del agua de refrigeración
- Detector de la presión del agua de refrigeración
- Detector de la temperatura del aceite
- Detector de la presión del aceite
- Detector de la temperatura de la mezcla
- Detector de la presión de alimentación
- Vigilancia del nivel de aceite (mín. y máx.)
- Termoelemento de escape para cada cilindro
- Control de detonaciones
- Posicionamiento/registro de la posición del mezclador de gas/válvula dosificadora de gas

Actuadores instalados en el motor

- Actuador de la clapeta
- Válvula del bypass turbo
- Posicionamiento/registro de la posición del mezclador de gas/válvula dosificadora de gas

4.3.2 Sistema de refrigeración del motor

El calor producido en el motor (camisas, aceite, refrigeración de la mezcla) debe ser evacuado cuando no hay posibilidad de aprovecharlo como agua de proceso.

Se disipa el calor del agua de camisas, del aceite y del intercooler mediante aerorefrigeradores de circuito cerrado, que están



instalados en el exterior normalmente (por ejemplo en el techo de la sala de motores).

En circuito cerrado, con:

- Depósito de dilatación
- Dispositivos de rellenado (válvulas de cierre y de reducción de presión, manómetro)
- Válvula de seguridad
- Termostato de cortocircuito (regulador mecánico de temperatura)
- Tuberías necesarias en el grupo modular
- Purgas de aire y de vaciado
- Bomba de agua de refrigeración con válvula de retención
- Caldeo para el agua de refrigeración

4.3.3 Circuito de aceite

- Tanque de aceite usado
- Tanque de aceite
- Bomba eléctrica para el aceite nuevo y usado
- Interruptores de nivel de aceite
- Purgadores de aceite
- Instalación completa con tuberías entre los tanques de aceite nuevo/aceite usado y los motores

Mediante cambio fácil se realiza las siguientes funciones:

- Llenado del tanque de aceite nuevo
- ☐ Llenado del tanque de aceite
- Llenado del cárter
- Vaciado del tanque de aceite
- Vaciado del cárter



Rellenado automático de aceite

Válvula magnética controlada por detectores de nivel, incorporada en la tubería de relleno, con mirilla para control visual, detector de nivel máx. y mín. para parar el grupo, dispositivo para actuación manual de la válvula magnética para relleno inicial y cambios de aceite

Purga de aceite

Pasando por la bancada, con llave de cierre

Bomba de refrigerante

Sirve a la refrigeración del turbocompresor, tiempo de marcha: 15 minutos después del paro del motor

Compuesto de: Bomba de aceite 250 W, 400/231 V, filtro de aceite y tubería.

4.4 Alternador síncrono trifásico autorregulado

Alternador de polos interiores con estator de polos interiores y rotor de polos salientes, regulador de voltaje con regulador de $\cos\phi$ alimentados por la excitatriz auxiliar de imanes permanentes.

Unidades constructivas:

- Carcasa con laminado del estator
- Bobinado de paso fraccionario (2/3) para suprimir corrientes de neutro de armónicas
- Caja de bornes, incluyendo también bornes auxiliares para termostatos y control del regulador
- Rotor con eje, suficientemente dimensionado y equilibrado dinámicamente según VDI 2060 graduación Q1



- Escudo de cojinete A, brida
- Escudo de cojinete B, brida
- Excitatriz de imanes permanentes
- Regulador de cos.phi
- Regulador de voltaje

Datos y propiedades eléctricas

- Rango de ajuste del voltaje $\pm 5\%$ del voltaje nominal ($\pm 10\%$ corto tiempo para sincronización)
- Exactitud estática del voltaje $\pm 1\%$ entre vacío y plena carga, con cos.phi entre 0,8 y 1,0
- Variación de velocidad $\pm 3\%$
- Diferencias entre curvas de tensión fase-fase en vacío $< 5\%$ (VDE)
- Alternador apto para servicio en paralelo con la red y/u otros alternadores.
- Corriente de cortocircuito trifásico en bornes: mín. tres veces la intensidad nominal durante 5 seg.
- Sobrecarga admisible según IEC 34 - I/VDE 0530
- Sobrevelocidad admisible según VDE 0530 (ensayo de embalamiento con 1,2 veces velocidad nominal durante 2 min.)

Accesorios incluidos

- Regulador electrónico de voltaje
- Regulador electrónico de cos.phi.
- 3 termistores para vigilancia de la temperatura del devanado

Desacople de red

Para un desacople rápido del alternador en caso de fallo de red se requieren las siguientes señales:

- Control de tensión: Dos parámetros de disparo por mínima y máxima tensión c/u.



- Control de frecuencia: Dos parámetros de disparo por mínima y máxima frecuencia c/u.
- Retardos de disparo por tensión y frecuencia ajustable en forma independiente
- Control de micro-cortes mediante salto de vector o control df/dt para garantizar tiempos de actuación rápidos
- Indicador alfanumérico con diodos luminosos de todos los parámetros y valores medidos para el funcionamiento normal y en caso de disparo.
- Claves de acceso para evitar cambios de parámetros no deseados.

Alcance de suministro:

Relé de protección de red digital con almacenamiento de datos de disparo, indicador de medida y autocontrol.

La señal de tensión a vigilar (3 x 400/100 V) debe ser proporcionada por el Cliente.

4.5 Equipamiento del módulo

Bastidor del grupo

Bastidor de perfiles de acero soldados para el montaje del motor, el generador y los intercambiadores de calor.

Embrague elástico

Embrague enchufable, sin juego, con limitación del par, para conectar el motor con el generador. El embrague aísla el generador de las vibraciones armónicas principales producidas por el par cambiante del motor.



Campana del embrague

Para el acoplamiento céntrico y rígido del motor y el generador con dos ventanas de ventilación y de control para el embrague con cubierta de chapa perforada.

Apoyo elástico

Rieles de goma dispuestos de forma uniforme respecto al centro de gravedad del motor y del generador entre el motor o el generador y el bastidor, así como titas de silómero entre el bastidor del módulo y el zócalo de asiento, para aislar las vibraciones.

Conducto de gases de escape en el grupo

Conexión al turbocompresor de gases de escape, incluido el compensador para compensar las dilataciones térmicas y desacoplar las vibraciones.

Filtro del aire de aspiración

Filtro seco de aire con cartuchos filtrantes intercambiables, elementos de unión elásticos con el mezclador de gases, indicador de mantenimiento para controlar el filtro.

Armario de interfaz

Armario de chapa de acero cerrado por todos sus lados, puerta con junta de goma perfilada. Montado y cableado en el grupo listo para funcionar.

Pintura: RAL 7035

Grado de protección: IP 54 fuera IP 10 dentro (protección contra el contacto directo con partes activas)

Ejecución conforme a DIN VDE 0660, parte 500 o IEC 439-1 o EN 60 439-1/1990.



Temperatura ambiente 5-40°C, humedad relativa 70%.

Alimentación con corriente de mando desde el cargador de baterías.

Alimentación de los servicios auxiliares: (por el proveedor de la instalación de alimentación de los servicios auxiliares) 3 x 400 / 231 V, 50 Hz, 16 A

4.5.1 Alimentación de gas combustible

Construcción de acuerdo con DIN-DVGW. Compuesto de:

- Órgano de bloqueo
- Filtro de gas, fineza <3 µm
- Regulador de presión de gas previa
- Manómetro con llave con pulsador
- Válvulas electromagnéticas
- Dispositivo de vigilancia de estanqueidad
- Presostato de gas (min.)
- Regulador de presión de gas

4.5.2 Dispositivo de arranque

Baterías de arranque: 2 Baterías de 12 células de plomo 2 x 12V, 200 Ah (según DIN 72311) con carcasa, terminales y verificador de acidez.

Control de voltaje de baterías: Mediante un dispositivo de control de la tensión.

Dispositivo de carga de la batería:

Para cargar la batería de arranque según la curva característica I/U y para alimentar los consumidores de corriente continua conectados.



Montado en el armario de interfaz modular o armario de control del módulo.

Datos Generales:

- Alimentación 3 x 320 - 550 V, 47 - 63 Hz
- Potencia absorbida máx. 1060 W
- Tensión nominal 24 V
- Rango de ajuste 24 a 28,8 V
- Corriente nominal 40 A
- Dimensiones 240 x 125 x 125 mm
- Grado de protección IP 20 según IEC 529
- Temperatura para servicio 0 °C – 60 °C
- Clase de protección 1
- Clase de humedad 3K3, sin condensación
- Refrigeración natural por aire
- Normas EN60950, EN50178
- UL/cUL (UL508/CSA 22.2)

Señalización:

LED verde: tensión de salida > 20,5 V

LED amarillo: sobrecarga, tensión da salida < 20,5 V

LED rojo: desconexión

Amperímetro 0 - 60 A (montado en el armario de interfaz)

Memoria de control: ☐ Batería de plomo 24 VDC/18 Ah



4.5.3 Conexiones Elásticas

Las siguientes conexiones elásticas están contenidas en el suministro de GE Jenbacher.

2 Entrada y salida del agua caliente DN/PN 80/10. Acero inoxidable.

1 Salida de gases de escape DN/PN 250/10. Acero inoxidable.

1 Gas combustible en la rampa DN/PN 65/16 (de gas). Acero inoxidable.

2 Entrada y salida del agua DN/PN 80/10 (de intercooler). Acero inoxidable.

2 Rellenado y vaciado de aceite mm 28. Manguera.

Todas las conexiones elásticas vendrán con las juntas y uniones correspondientes.

4.5.4 Silenciador

- Silenciador
- Todos los conductos y conexiones necesarias

Material: Acero inoxidable

Calorifugado:

El calorifugado del silencioso para reducir la radiación superficial (calor y ruido) forma parte del alcance de suministro del cliente. El calorifugado (100 mm de lana de roca, recubierta con 0,75 mm de acero cincado) necesario para mantener la presión sonora del contenedor (65 dB(A) a 10m), forma parte del alcance de suministro del cliente.



4.5.5 Sistema de ventilación

Funciones:

- Suministro del aire de combustión necesario de los motores
- Ventilación de la sala de motores para evacuar el calor de los alternadores y el calor de irradiación de los motores

Sistema de entrada de aire

- Celosía de protección climática
- Con láminas desviadoras de la lluvia transversales, así como rejas de protección contra pájaros y marcos de muros
- ☐ Filtros de entrada de aire según EN 779 clase G4
- Servomotor instalado con interruptor de fin de carrera
- Correderas insonorizantes
- Sistema de atenuación de ruido en la entrada de aire mediante material absorbente del sonido. Ventilador de la entrada de aire, 400/231 V, 50 Hz

Sistema de salida de aire

- Celosía de protección climática
- Con láminas desviadoras de la lluvia transversales, así como rejas de protección contra pájaros y marcos de muros
- Filtros de entrada
- Tapa de celosía
- Servomotor instalado con interruptor de fin de carrera
- Correderas insonorizantes

La persiana de aire de entrada abre automáticamente cuando arranca el motogenerador.

La persiana de aire de salida solamente abre cuando la temperatura en la sala de motores alcanza la temperatura para el arranque del ventilador de aire de salida. El funcionamiento del ventilador de aire de salida es controlado mediante un termostato.



4.5.6 Container

Container de acero según 40'ISO, para la instalación del modulo.

Dimensiones: Longitud: 16.000 mm, Ancho: 8.000 mm, Alto: 5.000 mm

Nivel de ruido: 65 dB a 10 m (nivel sonoro de la superficie de medida según DIN 45634)

Temperatura ambiente: El contenedor está proyectado para una temperatura ambiente desde - 20°C hasta 32°C.

Bastidor principal: autoportante; es decir, está ejecutado estáticamente de tal modo que es admisible el montaje de todas las piezas de montaje (grupo, armarios de distribución, etc.) y de todas las piezas agregadas (silenciadores de gases de escape, enfriador de mesa).

Estructura

Entre el bastidor principal y el armazón del tejado van soldados unos trapecios de chapa.

Las superficies insonorizantes están ejecutadas con planchas de lana mineral con velo superficial y cubierta de chapa agujereada. La estructura está ejecutada a prueba de inclemencias atmosféricas en caso de montaje al exterior. El tejado es transitable para trabajos de montaje.

En la pared frontal del lado del aire de escape se ha previsto una puerta de montaje para introducir el grupo. Hay prevista una puerta que da a la sala de distribución. En el lado longitudinal se ha previsto una puerta que da a la sala de motores.

Las puertas (sala de motores o sala de distribución) están ejecutadas con cerraduras de cilindro con llaves idénticas que se



abren como puertas de salida de emergencia en la dirección de la ruta de escape.

Están marcadas como tales y pueden ser abiertas desde el interior sin medios auxiliares ajenos (p. ej., cerradura de emergencia).

Sala de motores

El suelo de la sala de motores está conformado como cubeta de aluminio con un revestimiento plástico.

En la sala de motores se han previsto los siguientes pasajes:

- Tejado: Entrada y salida para el agua de refrigeración; bridas soldadas. Collarín montado de forma estanca con codo de escape en el conducto de gases de escape
- Techo: En el techo van montados carriles de anclaje para las suspensiones de las líneas de cables, conductos de gas, etc.
- □Pared lateral: Entrada del gas combustible, brida soldada
- Sala de distribución: La sala de distribución está ventilada a través de una abertura de entrada de aire cerradiza. El aire es aspirado por los ventiladores de la sala de motores. Para el paso de cables se ha previsto una escotadura en el suelo de la sala de distribución. La sala de distribución está provista en toda su superficie de un revestimiento plástico.

Puntos esenciales para la instalación del modulo y el container:

- Instalación y montaje del modulo
- Instalación del equipo de control en su departamento correspondiente
- Instalación de la línea de control de la presión del gas
- Instalación de los equipos para el aceite de lubricación
- Instalación de las tomas del aire y los conductos de salida para ventilación



- Instalación del silencioso sobre el techo
- Instalación del alumbrado del contenedor
- Instalación eléctrica auxiliar
- Acabado de las tuberías complementarias de escape, combustible, aceite y agua, de acuerdo con los límites del suministro, con todas las uniones necesarias, flexibles y reforzamientos.
- Chapas de paso sobre los conductos
- Vierteaguas
- Rotulación completa

Clasificación de la seguridad contra incendios:

El contenedor no está clasificado

4.6 Armarios de control

Los armarios de control consisten de armarios de chapa de acero, totalmente cerrados, con puerta delantera con juntas de goma, con cableado hasta listones de bornes, listos para el servicio.

Cuentan con una rejilla en la parte inferior para ventilación natural.

Protección: exterior IP 40, interior IP 10 (para evitar que se puedan tocar elementos que están bajo tensión).

Normativa: EN 60439-1 / IEC 60439-1 y ISO 8528-4

Temperatura de ambiente 5 - 40 °C y 70 % de humedad relativa

Color: Armario RAL 7035 (gris luminoso)

Zócalo RAL 7020

Las siguientes señales o mensajes son dispuestos por GE Jenbacher para el proveedor de la instalación de mando sin potencial en bornes:



- impulso ENCENDIDO para interruptor de red en momento Sy a través de la sincronización (duración del impulso aproximadamente 500 ms) 1 C
- comando APAGADO para interruptor de red en caso de falla de la red y falla de desconexión del interruptor del generador 1 C
- interruptor del generador bloqueado para conexión interruptor de red en barra sin tensión (primera conexión) 1 C
- demanda bloqueo interruptor de red para conexión del interruptor del generador en barra sin tensión (primera conexión) 1 C

GE JENBACHER incluirá una supervisión del DYR respecto a señales imposible de lógica

Cuando el cliente abre el DYR y cuando dispara cualquier protección como sobrecarga o cortocircuito (normalmente por parte del cliente también), el modulo cambiará a funcionamiento en isla.

4.6.1 Armario de control del módulo

Dimensiones

- Alto: 2200 mm (incluyendo 200 mm del zócalo)
- Ancho: 800 mm
- Profundidad: 600 mm

Suministro de tensión de control de la batería de arranque o de control: 24 V DC

Tensión auxiliar: (del cliente / del suministrador del equipo de alimentación auxiliar) 3 x 400/231 V, 50 Hz, Intensidad a definir (aproximadamente 35 A)



1) Visualización:

PC Industrial con 5,7" QVGA LCD gráficos de colores y 8 teclas de Funciones.

Teclado numérico con la entrada de datos.

Teclas para INICIO, PARADA, interruptor del generador APAGADO, interruptor del generador

ENCENDIDO/SELECCIÓN, selección de imágenes y funciones especiales.

Lista de señales:

- Ethernet (twisted pair) para la conexión con el servidor DIA.NE WIN.
- CAN-Bus: comunicación Bus para sensores y actuadores inteligentes.
- Acoplamiento al Master Control (MODBUS-RTU Slave, PROFIBUS-DP Slave)

Protección tipo: IP 65 (Frontal)

En la pantalla se resume de forma clara y funcional los valores, a la vez que su representación gráfica. El manejo se efectúa con teclas en pantalla y de funcionamiento.

Pantalla principal

- Datos del generador con valores eléctricos, así como voltaje de la excitación. Opción: Temperatura de los bobinados y de los rodamientos
- Circuitos de aceite y agua de camisas , con sus valores de temperaturas y presiones
- Representación de los gases de escape , con su temperatura, cálculo de la media
- Regulador principal del motor



- Regulador de auxiliares
- Auxiliares (Estado)
- Sincronización
- Datos de funcionamiento (Horas de servicio, horas de funcionamiento, arranques, energía activa, kwh, energía reactiva kVArh, libro de servicio diario)
- Pantalla (Hora, Password, brillo, contraste, diagnosis)

Administración de datos: instalación, visualización y memorización de todos los parámetros y su administración

Administración de alarmas: Listado con todas las variables y alarmas sucedidas, ordenadas por tiempo y por fechas.

2) Control central del motor y del módulo:

Un sistema de control industrial, construido modularmente, dirige el módulo y sus maniobras (preparativos de arranque, arranque, parada, postrefrigeración, manejo de auxiliares), así como todas las funciones de regulación.

Funciones de regulador

- Regulador de velocidad para el funcionamiento en vacío y en isla
- Regulación de potencia para el funcionamiento en isla, según señal interna o externa
- Regulador LEANOX para mantener la presión de carga según la potencia del generador y la temperatura de la mezcla en el intercambiador del motor
- Regulador de detonaciones: Dependiendo del punto de encendido, la potencia y las condiciones de la instalación, y regulación de la temperatura de la mezcla según las detonaciones



- Equilibrio de potencias para el funcionamiento de varios módulos en paralelo
- Reducción lineal de potencia para sobretemperaturas e intermitencias
- Contactos para señales según lista de señales
- Multiconvertidor para monitorizar las siguientes señales del generador:
 - Corriente por fase (con el máximo desde el arranque)
 - Corriente de neutro
 - Tensiones fase-fase y fase-neutro
 - Potencia activa (la máxima desde el arranque)
 - Potencia reactiva
 - Potencia aparente
 - Factor de potencia
 - Frecuencia
 - Energía activa
 - Energía reactiva
- Para alarmas del generador se dispone en el multiconvertidor de las siguientes señales (máx. 8 funciones simultáneas):
 - Sobrecarga/cortocircuito
 - Tensión máx.
 - Tensión min.
 - Asimetría tensiones
 - Asimetría corrientes
 - Fallo Excitación
 - Frecuencia máx.
 - Frecuencia min.

Alarmas con efecto de parada del grupo

- Presión de aceite mínima
- Nivel de aceite del motor mínimo
- Nivel de aceite del motor máximo



- Temperatura de aceite máxima
- Presión del agua de refrigeración mínima
- Presión del agua de refrigeración máxima
- Temperatura del agua de refrigeración máxima
- Sobrevelocidad
- Desconexión de emergencia / circuito de seguridad
- Presión del gas mínima - fallo en la rampa de gas
- Fallo en el arranque
- Fallo en la parada
- Falta de condiciones para el arranque del motor
- Falta de condiciones para el servicio del motor
- Intermitencias en el encendido
- Temperatura de la mezcla máxima
- Fallo de la señal de medición
- Sobrecarga/fallo señal de potencia
- Sobrecarga del alternador/cortocircuito
- Tensión generador máx. /min.
- Frecuencia generador máx. /min.
- Generador asimetría tensiones
- Generador asimetría corrientes
- Potencia inversa del alternador
- Temperatura máxima del bobinado del alternador
- Fallo en la sincronización
- Fallo, detonaciones en los cilindros

Alarma con efecto de alarma óptica (sin parada del motor, lista orientativa):

- Temperatura mínima del agua de refrigeración
- Fallo de la batería del PLC

Avisos de servicio

- Listo para arranque automático



- En operación (motor en servicio)
- Interruptor del generador cerrado

4.6.2 Armario de potencia

Mediante señal analógica del lado del cliente

Una señal libre de potencial externa (0/4-20 mA) = 50-100% de potencia nominal. La señal es una consigna para el regulador de potencia.

En Plantas con múltiples módulos, esta señal puede ser conectada en serie con todos los reguladores, de manera que las cargas de todos los motores se equilibren.

- Parte de potencia:
- Disyuntor motorizado de 3-fases, que lleva disparo electrónico integrado para la protección del generador y consiste en:
 - Protección de sobrecorriente (ajustable)
 - Protección de cortocircuito (ajustable)
 - Poder de desconexión: 40 kA
 - Poder de conexión: 84 kA
- Con disparador de tensión mínima 24V DC
- 3 Transformadores de corriente, 1 FS 5, para la medida (.../5 A)
- Sistema de barras colectoras de cobre, 4 polos (L1, L2, L3, PEN) con posibilidad de conexión de cables salientes
- Relés de control y auxiliares, bornes para cables de control, partes con tensión cubiertos con plexiglás
- Ventilación del armario



4.6.3 Central detectora de gas

El detector de gases controla continuamente el aire de la sala de máquinas y avisa de concentraciones de gas explosivas y perjudiciales para la salud.

El cabezal medidor (sensor catalítico) se situa en el techo o cerca del suelo, dependiendo del tipo de gas.

- Alarma Tensión: 24VDC
- Sensor del gas

4.6.4 Central detectora de humo

Dependiendo de la situación de la planta, el detector de humo se caracteriza por una excelente detección temprana, en combinación con detectores ópticos (sala de los armarios de control) y detectores térmicos (sala del motor).

El equipo tiene un indicador óptico en caso operacional y de alarma. El detector está montado en un soporte de plástico.

- Detector de humo Tensión: 24VDC
- Detector de humo



5. Transformador Vegeta HE

5.1 Características técnicas

Tabla V.15. Características transformador

Transformador Vegeta HE	
Potencia nominal (kVA)	2.500
Pérdidas en vacío (W ₀)	2.150
Pérdidas en carga (W _c)	18.500
Grupo vectorial	Dyn 11
Tensión primaria (kV)	25.350
Tensión secundaria	690 V entre fases
	398 V entre fase y neutro
Tensión de la impedancia	6%
Nivel acústico (dB)	66

5.1.1 Circuito magnético

Realizado con chapa metálica de grano orientado de muy bajas pérdidas, según UNE 36128. El tipo o clase de chapa es elegido en función de los siguientes parámetros: Pérdidas y Nivel de ruido garantizados. La sección neta se mantiene constante tanto en columnas como en culatas, a lo largo de todo el circuito magnético ya que por su especial configuración no se necesitan bulones de apriete que reducen la sección.

El tipo de juntas de unión entre columnas y culata es el denominado a 45° sin talón, con culata completa de una pieza, y el apilado se realiza decalando cada formato del anterior al objeto de minimizar el efecto del entre-hierro. La forma del perfil es escalonada, utilizándose el necesario número de escalones para obtener el mejor coeficiente de superficie útil.



5.1.2 Bobinado de baja tensión

Este arrollamiento es el que está situado junto al circuito magnético y concéntrico con él. Los conductores empleados para su realización son de dos tipos bien diferenciados, dependiendo del valor de la corriente asignada:

- Conductor de sección rectangular con cantos redondeados de acuerdo con UNE 21179.

Cada conductor está aislado con papel de celulosa de clase térmica A o con un esmalte de clase H. En el caso de la banda, ésta es desnuda.

La configuración del arrollamiento con conductor rectangular es del tipo de capa completa, con uno o más canales concéntricos para refrigeración. El aislamiento entre capas es siempre del tipo impregnado con resina en estado B.

- Bandas con bordes acondicionados.

En los arrollamientos del tipo banda con bordes acondicionados, ésta ocupa con su anchura el axial total de la bobina, siendo por tanto cada espiral una capa de bobinado. Durante la realización de arrollamiento se acompaña a cada banda una capa de papel impregnado con resina en estado B, el cual polimeriza durante el ciclo de secado proporcionando al arrollamiento una fortaleza capaz de resistir sin daño los esfuerzos mecánicos correspondientes a un cortocircuito según UNE 20101-5.



5.1.3 Bobinado de alta tensión

Se sitúa envolviendo al arrollamiento de baja tensión, concéntrico con él y separados por una estructura aislante adecuada al nivel de aislamiento deseado.

Los conductores empleados para su realización son de dos tipos:

- De sección circular denominados hilos.
- De sección rectangular o pletinas.

El aislamiento empleado en los hilos es un esmalte de clase térmica H. En los conductores de sección rectangular o pletinas se utiliza aislamiento de papel clase térmica A o esmalte clase térmica H. La configuración del bobinado con ambos conductores es del tipo anti-resonante en una sección, lo que confiere una gran resistencia a las ondas de impulso tipo rayo.

El aislamiento entre capas es del tipo impregnado en resina, que al polimerizar durante la operación de secado dota al conjunto de una resistencia mecánica capaz de soportar los esfuerzos de cortocircuito.

5.1.4 Parte activa

Se denomina así al conjunto de elementos que forman la parte a desencubar del transformador, siendo sus principales componente además del núcleo y bobinados los siguientes

- Estructura de fijación y guiado

La estructura de fijación tiene por objeto mantener los bobinados en su posición axial respecto al circuito magnético, así como ejercer la presión necesaria sobre éste para minimizar el nivel de ruido. Está formada por cuatro vigas, dos en la culata



superior y otras dos en la inferior, de estratificado de madera con resina fenólica las superiores y de acero las inferiores. Para el apriete se emplean varillas roscadas de acero que facilitan el ajuste en altura de la tapa. Para mantener las distancias entre bobinados y la cuba, se colocan dos pies de guiado en la parte inferior sujetos a las vigas inferiores.

- Conmutador de tensión

El conmutador de tensión con mando sobre la tapa está colocado entre la tapa y la parte superior del circuito magnético. Es del tipo cremallera con acción directa del eje de mando mediante piñón dentado.

- Tapa

La tapa se realiza en chapa de acero lisa reforzada con perfiles, que sirven además para fijar las varillas verticales que elevan el resto de componentes. Las dimensiones de la tapa desbordan ampliamente el marco de la caja.

- Pasatapas

Los pasatapas de alta y baja tensión son para servicio intemperie.

5.1.5 Cuba

La cuba de los transformadores de distribución es del tipo elástica para absorber, sin deformación permanente, el aumento de volumen del líquido aislante debido a las variaciones de temperatura provocadas por la carga del transformador. Está formada por los siguientes componentes:

- Bastidores de apoyo



Los bastidores de apoyo están fijados al fondo mediante soldadura continua y estanca para evitar oxidaciones. Están provistos de agujeros para fijar los cabezales de las ruedas así como para arrastrar el transformador.

○ Fondo

El fondo tiene forma de “bañera” y en sus laterales se alojan las conexiones de puesta a tierra así como el dispositivo de vaciado.

○ Aletas

Las aletas son la parte fundamental de la cuba. Forman las paredes laterales y le dan la elasticidad necesaria. Están formadas por chapa de acero laminado en frío con espesor que oscila entre 1 y 1,5 mm. plegada sin estiramiento. La elasticidad se logra mediante la adecuada combinación de la altura, profundidad, espesor de chapa y presión interna resultante.

○ Marco

El marco de la caja está realizado con perfil de acero en forma de L y soldado a la parte superior de las aletas. En la cara superior del marco se alojan los limitadores de presión para la junta y se realizan los agujeros para los tornillos de fijación tapa-cuba.

5.2 Dimensiones

Tabla V.16. Dimensiones y peso transformador

Ancho (mm)	2.350
Largo (mm)	1.250
Alto (mm)	2.150
Peso (kg)	6.350

ANEXO VI : INSTALACIÓN CONTRA INCENDIOS



Índice

1. Caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios	I-253
1.1 Configuración y ubicación con relación a su entorno.....	I-253
1.2 Riesgo intrínseco	I-254
1.2.1 Riesgo intrínseco del edificio de generación	I-254
1.2.2 Riesgo intrínseco de la nave de almacenamiento	I-255
2. Requisitos constructivos de los establecimientos industriales	I-256
2.1 Sectorización de los establecimientos industriales	I-256
2.2 Materiales	I-257
2.3 Estabilidad y resistencia al fuego de los elementos constructivos portantes	I-258
2.4 Resistencia al fuego de los elementos constructivos de cerramiento.....	I-258
2.5 Evacuación de los edificios industriales.....	I-259
2.5.1 Número y disposición de las salidas	I-260
2.5.2 Dimensionamiento de salidas y pasillos.....	I-261
2.5.3 Señalización e iluminación	I-261
2.5.4 Ventilación y eliminación de humos y gases de la combustión en los edificios industriales	I-261
3. Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales	I-262
3.1 Sistemas manuales de alarma de incendio	I-262



3.2	Extintores de incendio.....	I-262
3.3	Sistema de boca de incendios equipadas.....	I-263
3.4	Sistemas de alumbrado de emergencia.....	I-264
3.5	Señalización	I-265
4.	Riesgo de fuego forestal	I-265



NOTA: Para los cálculos relacionados con este anejo, se tomará como referencia el REAL DECRETO 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

1. Caracterización de los establecimientos industriales en relación con la seguridad contra incendios

1.1 Configuración y ubicación con relación a su entorno

Dentro de las diversas configuraciones y ubicaciones que pueden tener los establecimientos industriales, el establecimiento del presente proyecto se encuentra ubicado en varios edificios, una nave almacenen de biomasa con capacidad para 5 días y dimensiones de 47x18 m, la nave principal donde se ubican todos los elementos participantes en el proceso de generación.

Teniendo en cuenta la clasificación de los establecimientos industriales ubicados en edificios, los edificios del presente proyecto serán del siguiente tipo:

- Edificio de generación eléctrica, *TIPO C* (donde el establecimiento industrial ocupa totalmente un edificio, o varios, en su caso, que está a una distancia de más de 3 m del edificio más próximo de otros establecimientos).
- Almacén de combustible, *TIPO D* (el establecimiento industrial ocupa un espacio abierto, que puede estar totalmente cubierto, alguna de cuyas fachadas carece totalmente de cerramiento lateral)



1.2 Riesgo intrínseco

- Para los tipos A, B y C se considera "sector de incendio" el espacio del edificio cerrado por elementos resistentes al fuego durante el tiempo que se establezca en cada caso.
- Para los tipos D y E se considera que la superficie que ocupan constituye un "área de incendio" abierta, definida solamente por su perímetro.

1.2.1 Riesgo intrínseco del edificio de generación

En este edificio se encuentra toda la zona de combustión de biomasa así como la generación eléctrica, que tratándose de una central térmica, es una actividad con gran riesgo intrínseco. Se ha definido como edificio de TIPO C.

La expresión a aplicar para actividades de producción, transformación, reparación o cualquier cosa distinta al almacenamiento; en los que se incluyen los acopios de materiales y productos cuyo consumo o producción es diario será:

$$Q_s = \frac{\sum_i q_{si} \cdot S_i \cdot C_i}{A} \cdot R_a$$

siendo Q_s , densidad de carga de fuego, ponderada y corregida, del sector de incendio, en MJ/m² o Mcal/m².

C_i , coeficiente adimensional que pondera el grado de peligrosidad de cada uno de los combustibles (i) que existe en el sector de incendio.

R_a , coeficiente adimensional que corrige el grado de peligrosidad (por la activación) inherente a la actividad industrial.



Q_{si} , densidad de carga de fuego de cada zona con proceso diferente según los distintos procesos que se realizan en el sector de incendio (i), en MJ/m² o Mcal/m².

S_i , superficie de cada zona con proceso diferente y densidad de carga de fuego, q_{si} diferente en m².

A, superficie construida del sector de incendio, m².

Sustituyendo en la expresión anterior por los datos correspondientes (Anexo I, 4.2.1) se obtiene que $Q_s=320$ MJ/m², que se considera como nivel bajo (1) ya que $Q_s \leq 425$ MJ/m².

1.2.2 Riesgo intrínseco de la nave de almacenamiento

La expresión a aplicar será:

$$Q_s = \frac{\sum_1^i q_{vi} \cdot S_i \cdot C \cdot h_{i_i}}{A} \cdot R_a$$

siendo q_{vi} = Carga de fuego, aportada por cada m³ de cada zona con diferente tipo de almacenamiento (i) existente en el sector de incendio, en MJ/m³ o Mcal/m³.

h_i = Altura del almacenamiento de cada uno de los combustibles (i), en m.

Sustituyendo en la expresión anterior por los datos correspondientes (Anexo I, 4.2.2) se obtiene que $Q_s=32.000$ MJ/m², que se considera como nivel alto (8), ya que $Q_s > 13.600$ MJ/m².



2. Requisitos constructivos de los establecimientos industriales

Todo establecimiento industrial constituirá, al menos, un sector de incendio cuando adopte las configuraciones de tipo A, tipo B o tipo C, o constituirá un área de incendio cuando adopte las configuraciones de tipo D o tipo E.

2.1 Sectorización de los establecimientos industriales

La máxima superficie construida admisible de cada sector de incendio es:

- Edificio de generación eléctrica: teniendo en cuenta que el riesgo intrínseco de éste edificio es bajo (1) y que la configuración del establecimiento es de tipo C, se obtiene que la máxima superficie construida admisible es de 6.000 m^2 , y dado que la superficie total del edificio a construir es menor, se tiene que la superficie construida es admisible.
- Nave de almacenamiento de combustible: la distribución de los materiales combustibles en las áreas de incendio en una configuración de tipo D debe cumplir los siguientes requisitos:

Superficie máxima de cada pila: 500 m^2 .

Volumen máximo de cada pila: 3.500 m^3 .

Altura máxima de cada pila : 15 m .

Longitud máxima de cada pila: 45 m si el pasillo entre pilas es $>2,5 \text{ m}$; 20 m si el pasillo entre pilas es $>1,5 \text{ m}$.

Consideraciones a tener en cuenta a la hora de disponer la biomasa en dicha nave, pero que no afectan al presente proyecto dado que tanto la superficie, como el volumen y altura de la pila de biomasa van a ser inferiores.



2.2 Materiales

Las exigencias de comportamiento al fuego de los productos de construcción se definen determinando la clase que deben alcanzar, según la norma UNE-EN 13501-1 para aquellos materiales que exista norma armonizada y ya esté en vigor el marcado “CE”.

En suelos: C_{FL}-s1 (M2) o más favorable.

En paredes y techos: C-s3 d0 (M2), o más favorable.

Los materiales de los lucernarios continuos en cubierta serán B-s1d0 (M3) o más favorables.

Los materiales de revestimiento exterior de fachadas serán C-s3d0 (M2)

Los productos en el interior de falsos techos y suelos elevados serán B-s3d0 (M1) o más favorables.

Los cables serán no propagadores del incendio y con emisión de humo y opacidad reducida.

Cuando un producto que constituya una capa contenida en un suelo, pared o techo sea de una clase más desfavorable que la exigida al revestimiento correspondiente, la capa y su revestimiento, en su conjunto, serán, como mínimo, EI 30 (RF30) (en sectores industriales de riesgo intrínseco bajo, ubicados en edificios de tipo B o de tipo C para los que será suficiente la clasificación Ds3d0 (M3) o más favorable, para los elementos constitutivos de los productos utilizados para paredes o cerramientos).

Los productos situados en el interior de falsos techos o suelos elevados, tanto los utilizados para aislamiento térmico y para acondicionamiento acústico como los que constituyan o revistan conductos de aire acondicionado o de ventilación, deben ser de clase C-s3 (M1) o más favorable.



2.3 Estabilidad y resistencia al fuego de los elementos constructivos portantes

Las exigencias de comportamiento ante el fuego de un elemento constructivo portante se definen por el tiempo en minutos, durante el que dicho elemento debe mantener la estabilidad mecánica (o capacidad portante) en el ensayo normalizado conforme a la norma correspondiente de las incluidas en la Decisión 2000/367/CE de la comisión, de 3 de mayo de 2000, modificada por la Decisión 2003/629/CE de la Comisión.

La estabilidad al fuego de los elementos estructurales con función portante no tendrá un valor inferior para la nave de almacenamiento de R 90 (EF-90) y para el edificio de producción de R 60 (EF-60).

2.4 Resistencia al fuego de los elementos constructivos de cerramiento

Las exigencias de comportamiento ante el fuego de un elemento constructivo de cerramiento (o delimitador) se definen por los tiempos durante los que dicho elemento debe mantener las siguientes condiciones, durante el ensayo normalizado conforme a la norma que corresponda de las incluidas en la Decisión 2000/367/CE de la comisión, de 3 de mayo de 2000, modificada por la Decisión 2003/629/CE de la Comisión:

- Capacidad portante R.
- Integridad al paso de llamas y gases calientes E.
- Aislamiento térmico I.

Estos tres supuestos se consideran equivalentes en los especificados en la norma UNE 23093.

- Estabilidad mecánica o capacidad portante.
- Estanqueidad al paso de llamas o gases calientes.



- No emisión de gases inflamables en la cara no expuesta al fuego.
- Aislamiento térmico suficiente para impedir que la cara no expuesta al fuego supere las temperaturas que establece la norma correspondiente.

La resistencia al fuego de los elementos constructivos delimitadores de un sector de incendio respecto de otros no será inferior a la estabilidad al fuego exigida para los elementos constructivos con función portante en dicho sector de incendio.

En el caso del edificio de generación eléctrica los elementos constructivos de cerramiento deberán tener como mínimo una estabilidad al fuego R 30 (EF-30). Por otra parte la nave de almacenamiento carece de paredes luego no se aplica el reglamento en este caso.

2.5 Evacuación de los edificios industriales

Para la aplicación de las exigencias relativas a la evacuación de los establecimientos industriales, se determinará la ocupación de los mismos, P, por la siguiente expresión:

$$P=1,10p, \text{ cuando } p<100$$

$$P=1,1 * 6 \text{ (máx.)}=6,6$$

donde p: número de personas que constituyen la plantilla que ocupa el sector de incendio, de acuerdo con la documentación laboral que legalice el funcionamiento de la actividad.

Se considera origen de evacuación a todo punto ocupable.

La longitud de los recorridos de evacuación se medirá sobre el eje.



Altura de evacuación, mayor diferencia de cotas entre cualquier origen de evacuación y la salida del edificio que le corresponda.

Salidas del recinto, que es una puerta o un paso que conducen, bien directamente, o bien a través de otros recintos, hacia una salida de planta y, en último término, hacia una del edificio.

La *evacuación de la nave de almacenamiento*, que se corresponde con un establecimiento de tipo D debe satisfacer las condiciones siguientes además de cumplir lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril:

- Anchura de la franja perimetral: la altura de la pila y como mínimo 5 m.
- Anchura para caminos de acceso de emergencia: 4,5 m.
- Separación máxima entre caminos de emergencia: 6,5m.
- Anchura mínima de pasillos entre pilas: 1,5 m.

La *evacuación de la nave de producción*, establecimiento industrial de tipo C debe cumplir las condiciones siguientes:

2.5.1 Número y disposición de las salidas

El recinto dispondrá de dos salidas una a cada lado lo que cumple la normativa.

- Ocupación menor de 50 personas.
- No existen recorridos para más de 50 personas que precisen salvar, en sentido ascendente, una altura de evacuación mayor de 2 metros.
- Ningún recorrido de evacuación hasta la salida tiene una longitud mayor que 50 metros.



2.5.2 Dimensionamiento de salidas y pasillos

En los recintos se asignará la ocupación de cada punto a la salida más próxima, en la hipótesis de que cualquiera de ellas puede estar bloqueada.

La anchura A , en m, de las puertas, pasos y pasillos será al menos igual a $P/200$, siendo P el número de personas asignadas a dicho elemento de evacuación. $P/200=6,6/200$ m. Por lo tanto, la anchura de las puertas tanto de la nave como de las oficinas será siempre superior a la especificada por la norma. La anchura libre en puertas, pasos y huecos previstos como salida de evacuación será igual o mayor que 0,8 m. La anchura de la hoja será menor igual o menor que 1,2 m y en puertas de dos hojas, igual o mayor que 0,6m. La anchura libre de pasillos previstos como recorridos de evacuación será igual o mayor que 1 m.

2.5.3 Señalización e iluminación

Debe estar de acuerdo con el art. 12 de la NBE-CPI/96, apartados 12.1, 12.2 y 12,3: además, deberán cumplir lo dispuesto en el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril.

2.5.4 Ventilación y eliminación de humos y gases de la combustión en los edificios industriales

La eliminación de los humos y gases de la combustión y, con ellos de parte del calor generado, se hará mediante puertas y ventanas.

La zona de incendio con actividades de producción, montaje, transformación, reparación y otras distintas al almacenamiento, al estar situado en cualquier planta sobre rasante y su nivel de riesgo



intrínseco bajo, permitirá aplicar el siguiente valor mínimo de la superficie aerodinámica de evacuación de humos $0,5\text{m}^2/200\text{m}^2$ o fracción.

3. Requisitos de las instalaciones de protección contra incendios de los establecimientos industriales

3.1 Sistemas manuales de alarma de incendio

No es necesaria la instalación de un sistema automático de detección de incendios, por lo que se instalará un sistema manual de alarma de incendios, aun así tampoco sería preciso la instalación del sistema manual puesto que la superficie construida no excede los 1.000 m^2 .

Se situará un pulsador junto a cada salida de evacuación de la nave de producción, de tal forma que la distancia a recorrer desde cualquier punto hasta alcanzar un pulsador no supere los 25 m.

3.2 Extintores de incendio

Se instalarán extintores de incendio portátiles en todos los sectores de incendio de los establecimientos industriales.

En la nave de producción se instalarán 4 extintores de incendio portátiles (1 de ellos en las oficinas) con una eficacia mínima de 21A, por ser una zona de riesgo intrínseco bajo y una superficie total de 840 m^2 .



En la nave de almacenamiento se instalarán 10 extintores de incendio portátiles, por ser una zona de riesgo intrínseco alto y una superficie total de 846 m².

No se emplearán agentes extintores conductores de la electricidad sobre fuegos que se desarrollan en presencia de aparatos, cuadros, conductores y otros elementos bajo tensión eléctrica superior a 24 V. Por lo que se realizará con extintores de dióxido de carbono, o polvo seco BC o ABC.

El emplazamiento de los extintores portátiles de incendio permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles, estarán situados próximos a los puntos donde se estime mayor probabilidad de iniciarse el incendio y su distribución, será tal que el recorrido máximo horizontal, desde cualquier punto del sector de incendio hasta el extintor, no supere 15 m.

3.3 Sistema de boca de incendios equipadas

No será necesaria la instalación de bocas de incendio equipadas en la nave de producción dado que se encuentra ubicada en una instalación de tipo C, su riesgo intrínseco de incendio es bajo y la superficie total a construir es inferior a 1.000 m².

Tampoco será necesaria la instalación de bocas de incendio en la nave de almacenamiento de combustible pese a estar en un edificio de tipo D y que su riesgo de intrínseco de incendio es alto dado que su superficie total es tan solo de 846 m².



3.4 Sistemas de alumbrado de emergencia

Según la normativa todos los locales o espacios donde estén instalados cuadros, centros de control o mandos de las instalaciones técnicas de servicios o de los procesos que se desarrollan en el establecimiento industrial. Asimismo contará con un sistema de alumbrado de emergencia los locales o espacios donde estén instalados los equipos centrales o los cuadros de control de los sistemas de protección contra incendios. Luego por tanto se dotará de un sistema de alumbrado de emergencia a la zona de oficinas y a los elementos de control de los principales sistemas (gasificador, secador y grupo generador).

En la nave de almacenamiento de combustible se prescinde del sistema de alumbrado de emergencia por su baja presencia de personal y la ausencia de paredes.

La instalación de los sistemas de alumbrado de emergencia cumplirá las siguientes condiciones:

- Será fija, estará provista de una fuente propia de energía entrará automáticamente en funcionamiento al producirse un fallo del 70% de su tensión nominal de servicio.
- Mantendrá las condiciones de servicio, que se relacionan a continuación, durante una hora, como mínimo, desde el momento en que se produzca el fallo.
- Proporcionará una iluminancia de 1 lux, como mínimo, en el nivel del suelo en los recorridos de evacuación.
- La iluminación será como mínimo de 5 lux en los locales o espacios donde estén instalados el centro de control y los equipos centrales.
- La uniformidad de la iluminación proporcionada en los distintos puntos de cada zona será tal que el cociente entre la iluminación máxima y la mínima sea menor que 40.
- Los niveles de iluminación establecidos deben obtenerse considerando nulo el factor de reflexión de paredes y techos y



contemplando un factor de mantenimiento que comprenda la reducción del rendimiento luminoso debido al envejecimiento de las lámparas y a la suciedad de las luminarias.

3.5 Señalización

Se procederá a la señalización de las salidas de uso habitual o de emergencia, así como la de los medios de protección contra incendios de utilización manual, cuando no sean fácilmente localizables desde algún punto de la zona protegida, teniendo en cuenta lo dispuesto en el Reglamento de señalización de los centros de trabajo, aprobado por el Real Decreto 485/1997, de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

4. Riesgo de fuego forestal

La ubicación de industrias en terrenos colindantes con el bosque origina riesgo de incendio en una doble dirección: en primer lugar, supone un peligro para la industria, puesto que un fuego forestal la puede afectar, y de forma similar existe peligro de que un fuego en una industria pueda originar un fuego forestal, máxime en casos como el de este proyecto, donde la planta se ubica en una zona con una presencia de vegetación con poco índice de humedad en la época estival.

La zona edificada o urbanizada debe disponer preferentemente de dos vías de acceso alternativas, cada una de las cuales debe cumplir las condiciones de aproximación a los edificios.



Cuando no se pueda disponer de las dos vías alternativas indicadas, el acceso único debe finalizar en un fondo de saco, de forma circular, de 12,5 m de radio.

Los establecimientos industriales de riesgo medio y alto ubicados cerca de una masa forestal han de mantener una franja perimetral de 25 m de anchura permanentemente libre de vegetación baja y arbustiva con la masa forestal esclarecida y las ramas bajas podadas. En lugares de viento fuerte y de masa forestal próxima se ha de aumentar la distancia establecida en un 100 por cien, al menos en las direcciones de los vientos predominante.

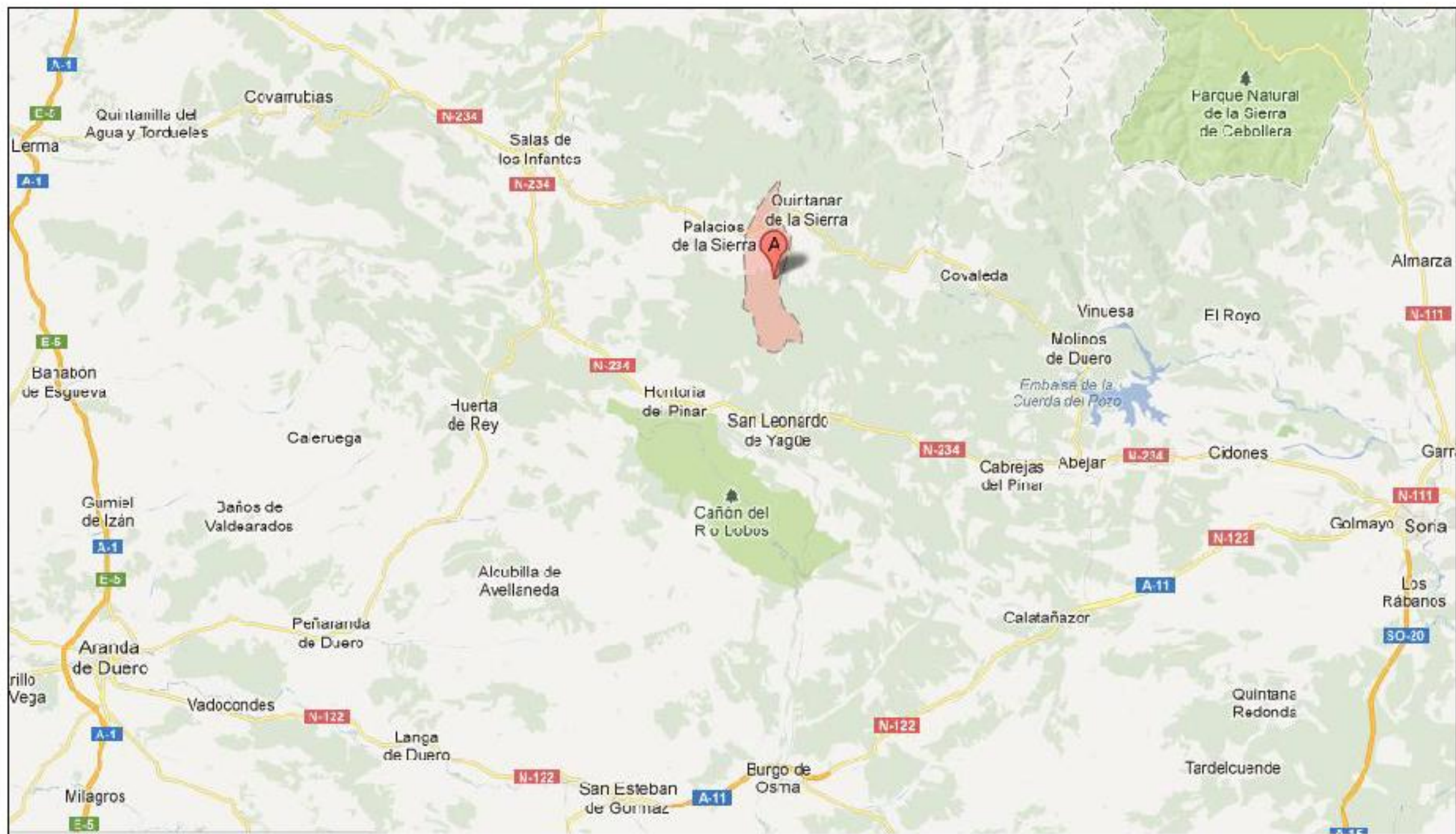


DOCUMENTO 2 : PLANOS



Índice de planos

1.	Localización de la planta--	II-3
2.	Ubicación de la parcela.....	II-4
3.	Distribución de la parcela.....	II-5
4.	Distribución en planta básica.....	II-6
5.	Distribución en planta detallada.....	II-7
6.	Secador tipo trommel.....	II-8
7.	Alzado gasificador.....	II-9
8.	Planta gasificador.....	II-10



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

AUTOR

Roberto Martínez Gómez

INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE
COGENERACIÓN CON BIOMASA

PLANO LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

ESCALA

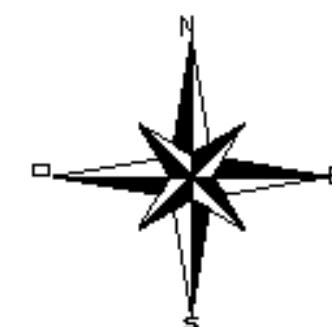
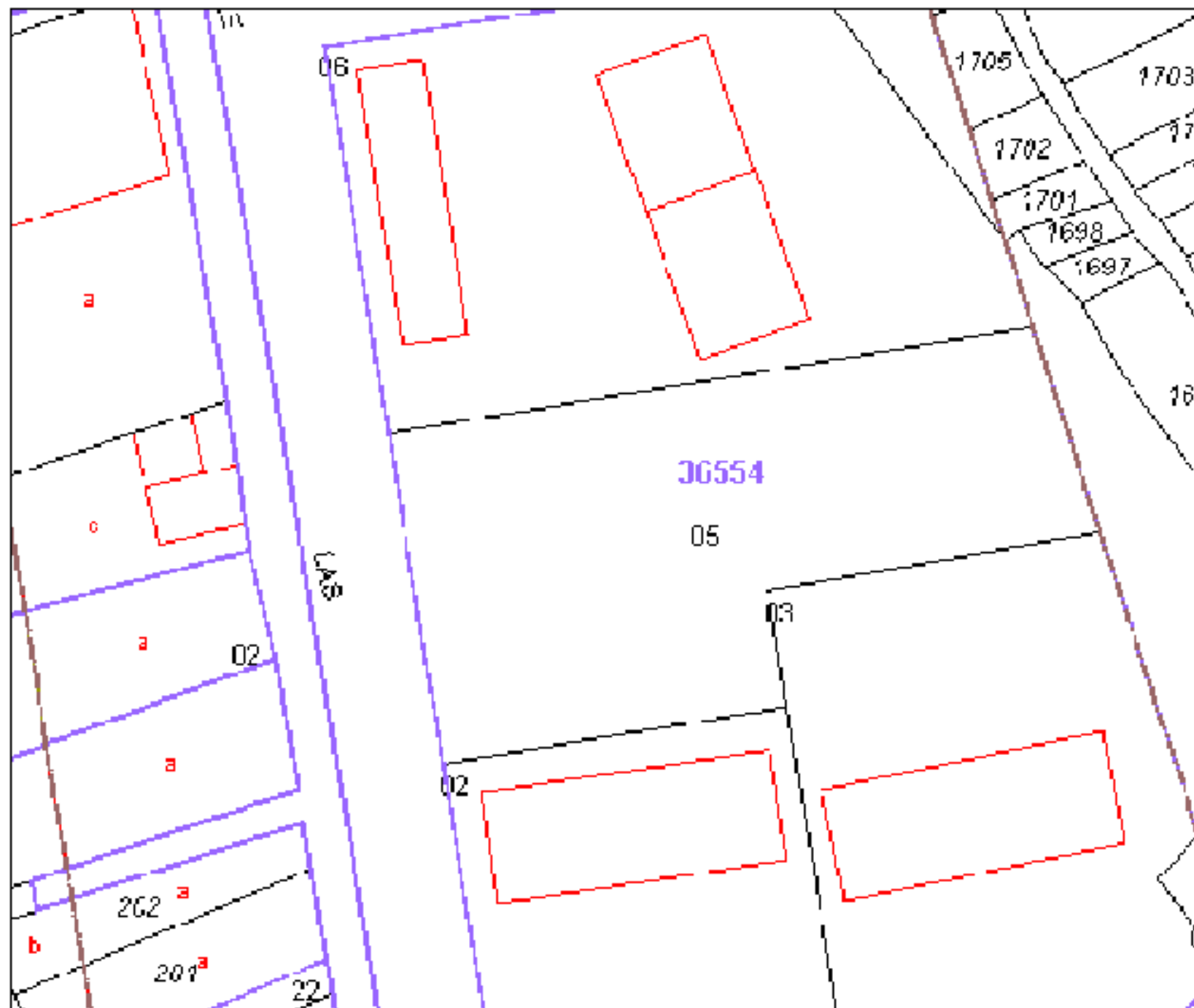
1:400000

FECHA

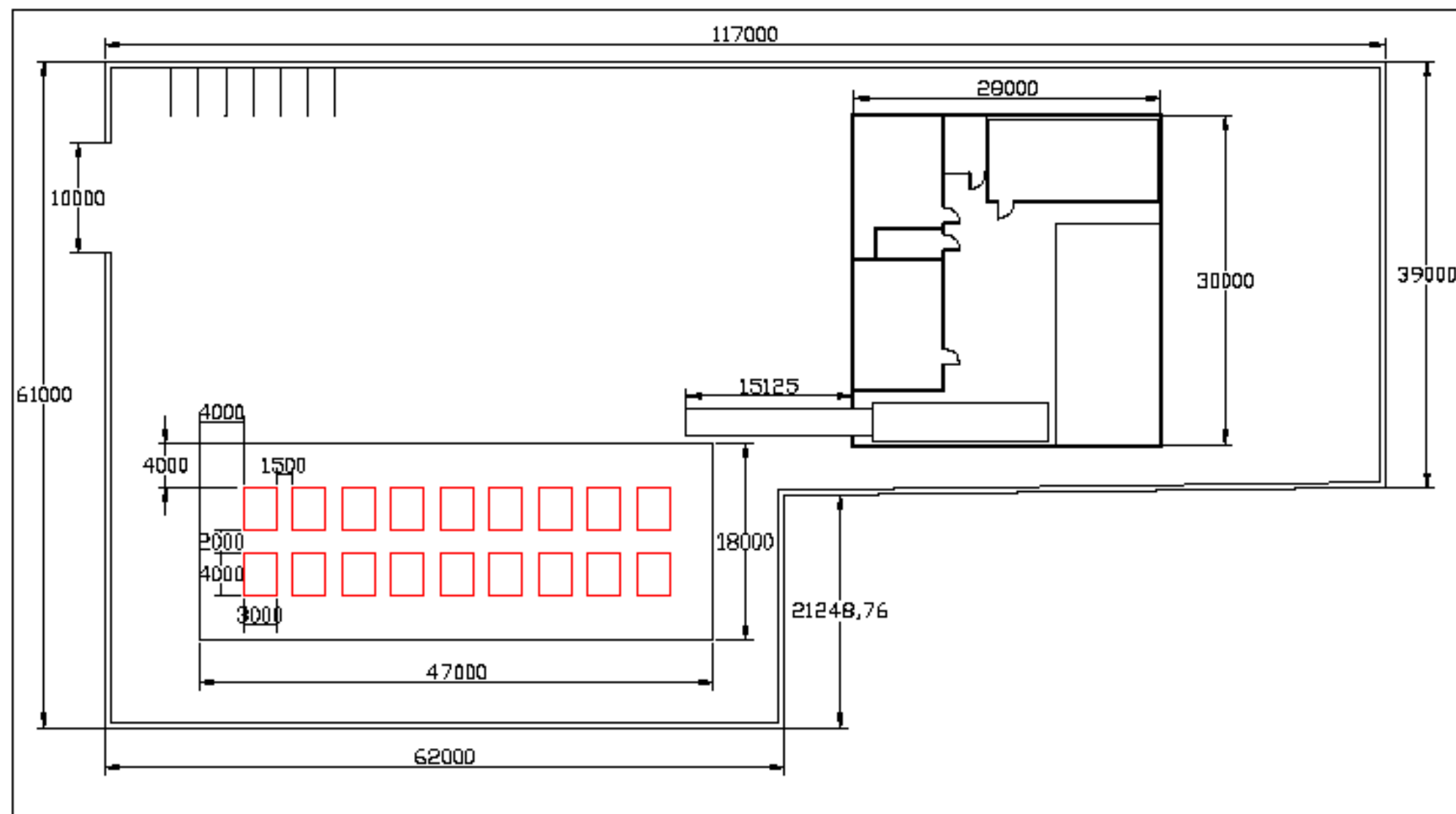
10/12/2012

PÁGINA

II - 3



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		
AUTOR Roberto Martínez Gómez	INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN CON BIOMASA	
	PLANO	UBICACIÓN PARCELA
ESCALA 1:1000	FECHA 10/12/2012	PÁGINA II - 4



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

AUTOR
Roberto Martínez Nájera

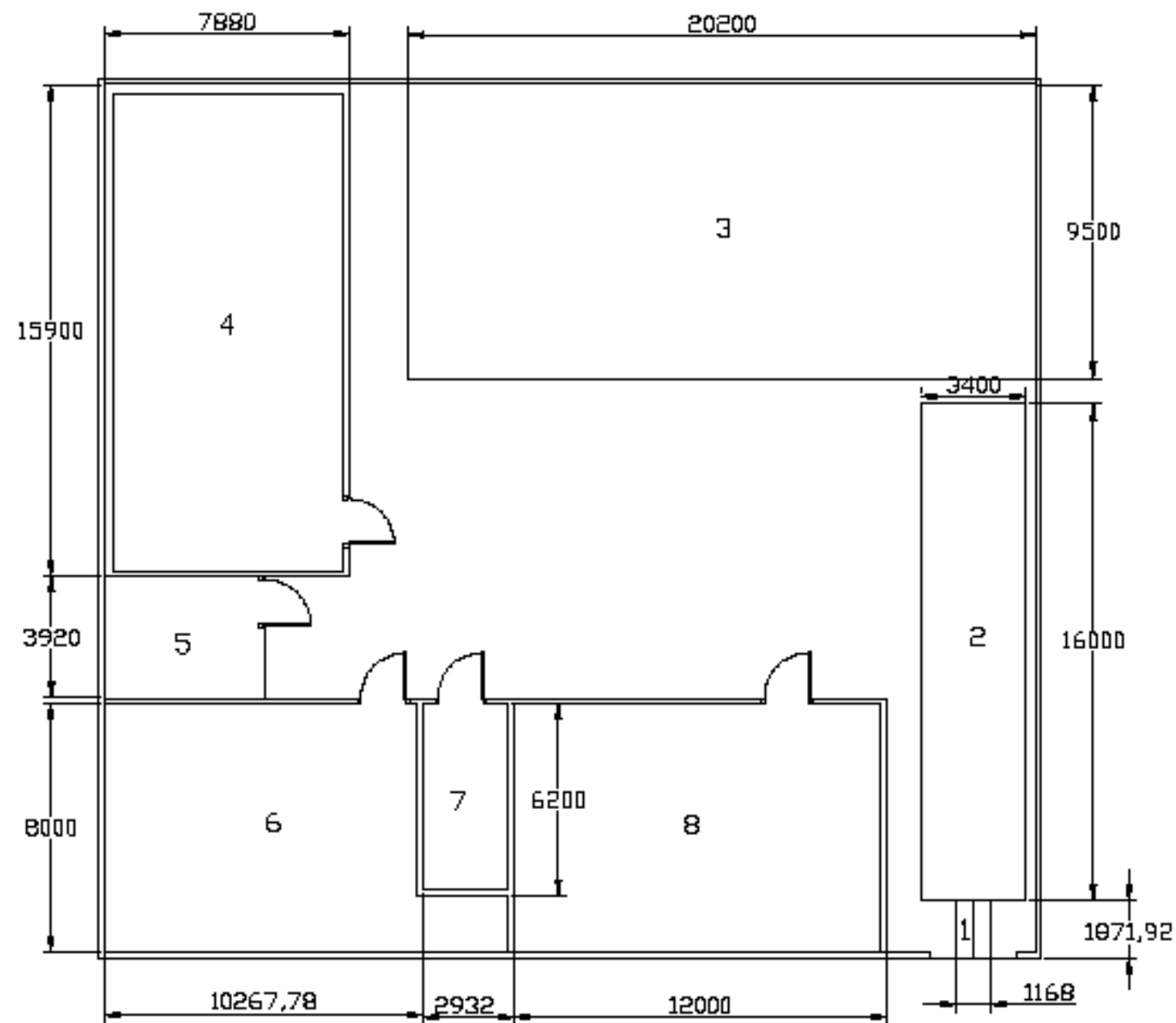
INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE
COGENERACIÓN CON BIOMASA

PLANO DISTRIBUCIÓN PARCELA

ESCALA
1:500

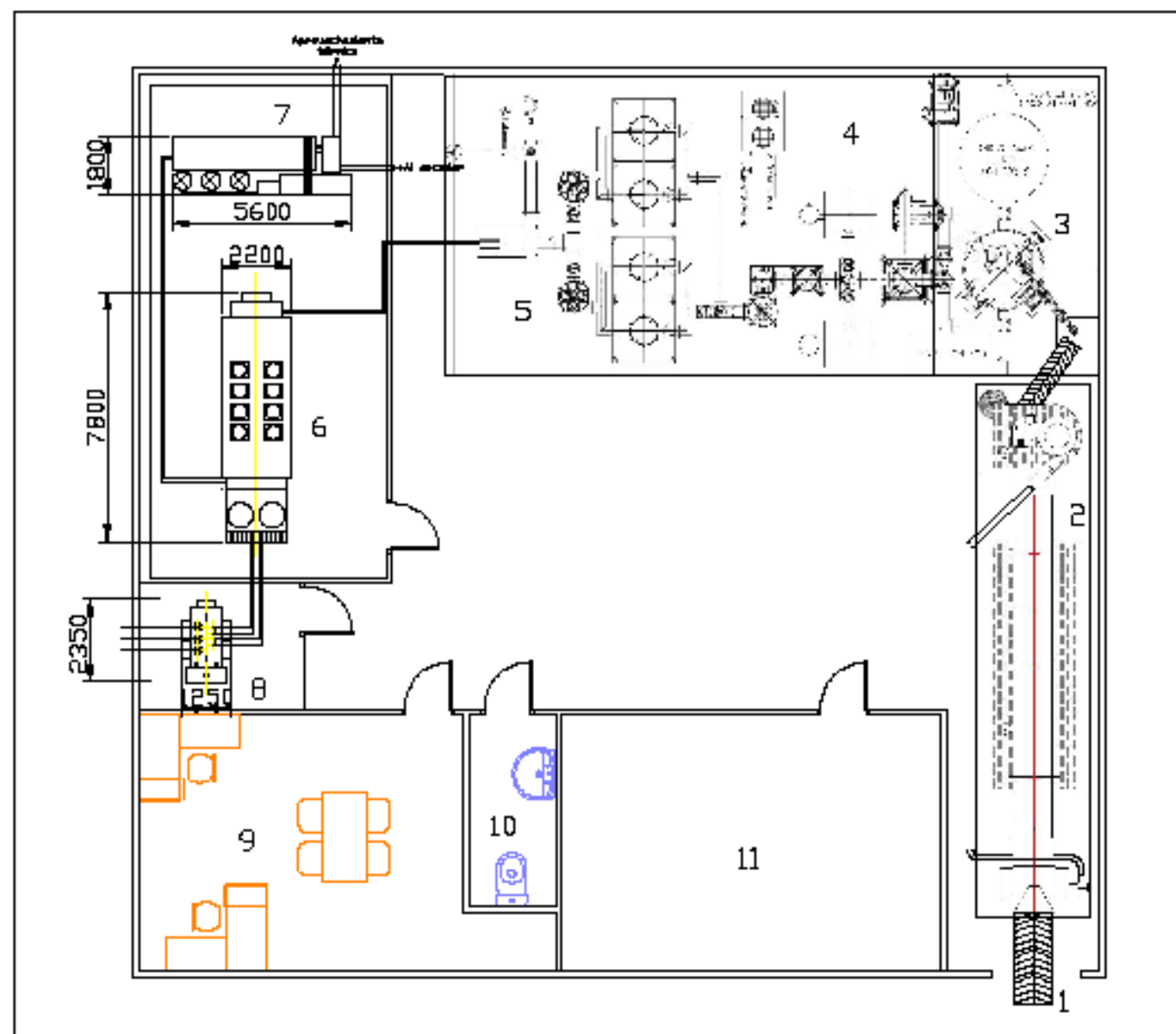
FECHA
10/12/2012

PÁGINA
II-5



- 1 CINTA DE ENTRADA BIOMASA
- 2 SECADOR TIPO TROMMEL
- 3 GRUPO GASIFICADOR
- 4 GRUPO MOTOGENERADOR
- 5 TRANSFORMADOR
- 6 OFICINAS
- 7 ASED
- 8 ALMACÉN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN UNIVERSIDAD DE CANTABRIA		
AUTOR Roberto Martínez Gómez	INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN CON BIOMASA	
	PLANO DISTRIBUCIÓN EN PLANTA BÁSICA	
ESCALA 1:200	FECHA 10/12/2012	PÁGINA II - 6



- 1 CINTA DE ENTRADA BIOMASA
- 2 SECADOR TIPO TROMMEL
- 3 GASIFICADOR
- 4 ÁREA DE PURIFICACIÓN DEL GAS
- 5 ÁREA DEL FILTRADO DEL GAS
- 6 MODULO GENERADOR
- 7 MODULO RECUPERACIÓN DE CALOR
- 8 TRANSFORMADOR
- 9 OFICINAS
- 10 ASEO
- 11 ALMACÉN

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

AUTOR

Roberto Martínez Gómez

INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE
COGENERACIÓN CON BIOMASA

PLANO

DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DETALLADA

ESCALA

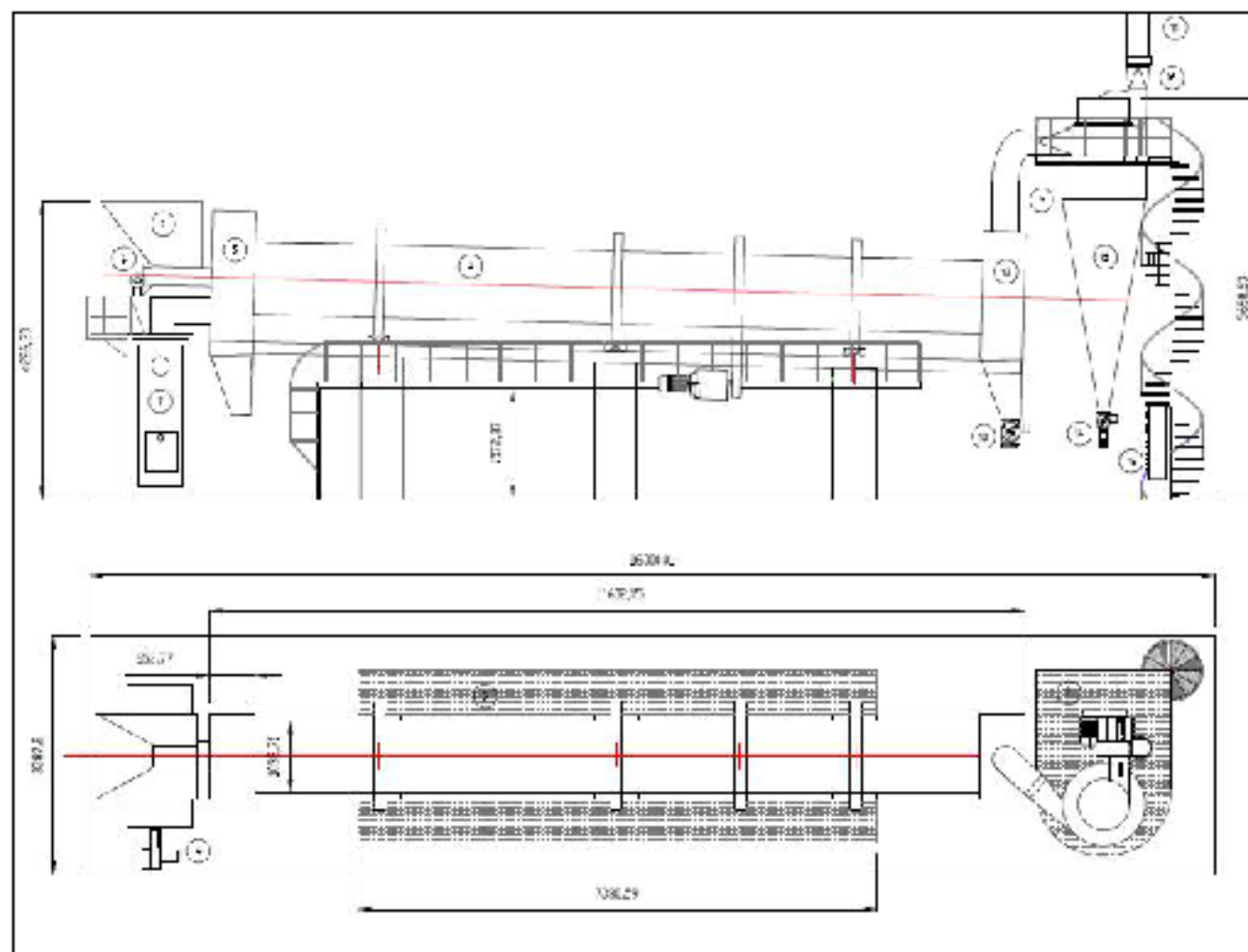
1:200

FECHA

10/12/2012

PÁGINA

II - 7



- 1 TOLVA DE CARGA
- 2 ENTREPISO VENTILADOR
- 3 ENTREPISO CÁMARA DE SECADO
- 4 ROSCA DE CARGA
- 5 CÁMARA DE MEZCLA DE GASES
- 6 QUEMADOR
- 7 INTERCAMBIADOR DE CALOR
- 8 CÁMARA ROTATIVA DE SECADO
- 9 CONDUCTO DE GASES HÚMEDOS
- 10 VÁLVULA ROTATIVA DE SALIDA
- 11 SALIDA A CHIMENEA
- 12 CÁMARA DE SALIDA
- 13 CICLÓN
- 14 VÁLVULA ROTATIVA DE PRODUCTO FINO
- 15 TABLERO DE COMANDO
- 16 VENTILADOR
- 17 LAVADOR DE GASES

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

AUTOR

Roberto Martínez Gómez

INGENIERIA BÁSICA DE UNA PLANTA DE
COGENERACIÓN CON BIOMASA

PLANO

SECADOR

ESCALA

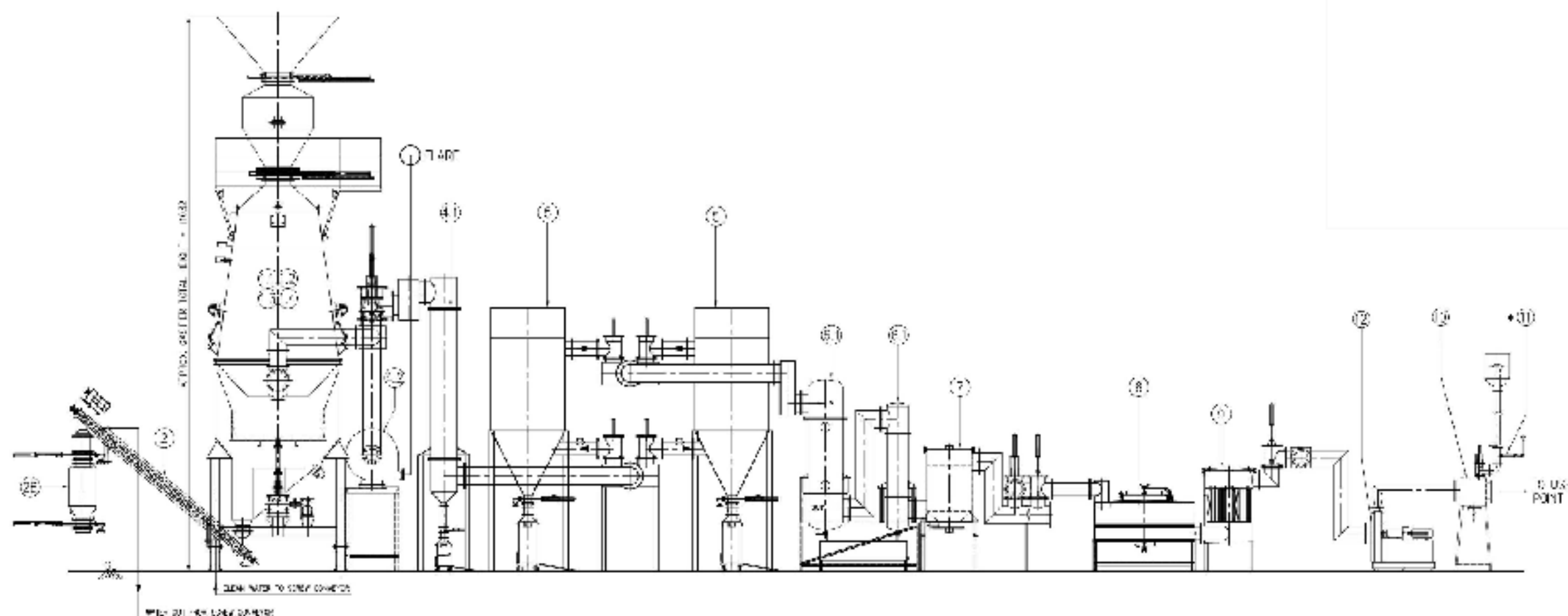
1:100

FECHA

10/12/2012

PÁGINA

II - 8



- 1 SISTEMAGASIFICADOR
- 2 TORNILLO SINFIN
- 2A COLECTOR DE CENIZAS SECAS
- 4 SISTEMA DE CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL GAS
- 5 CILCÓN
- 6 INTERCAMBIADOR DE CALOR
- 7 LAVADOR HUMEDO
- 8 FILTRO DE FINOS
- 9 FILTRO DE PLIEGUES
- 10 NEBULIZANTE DE AGUA
- 11 ANTORCHA
- 12 ESCAPE DE GAS PRODUCIDO

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

AUTOR

Roberto Martínez Nájera

INGENIERIA BÁSICA DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN CON BIOMASA

PLANO

ALZADO GASIFICADOR

ESCALA

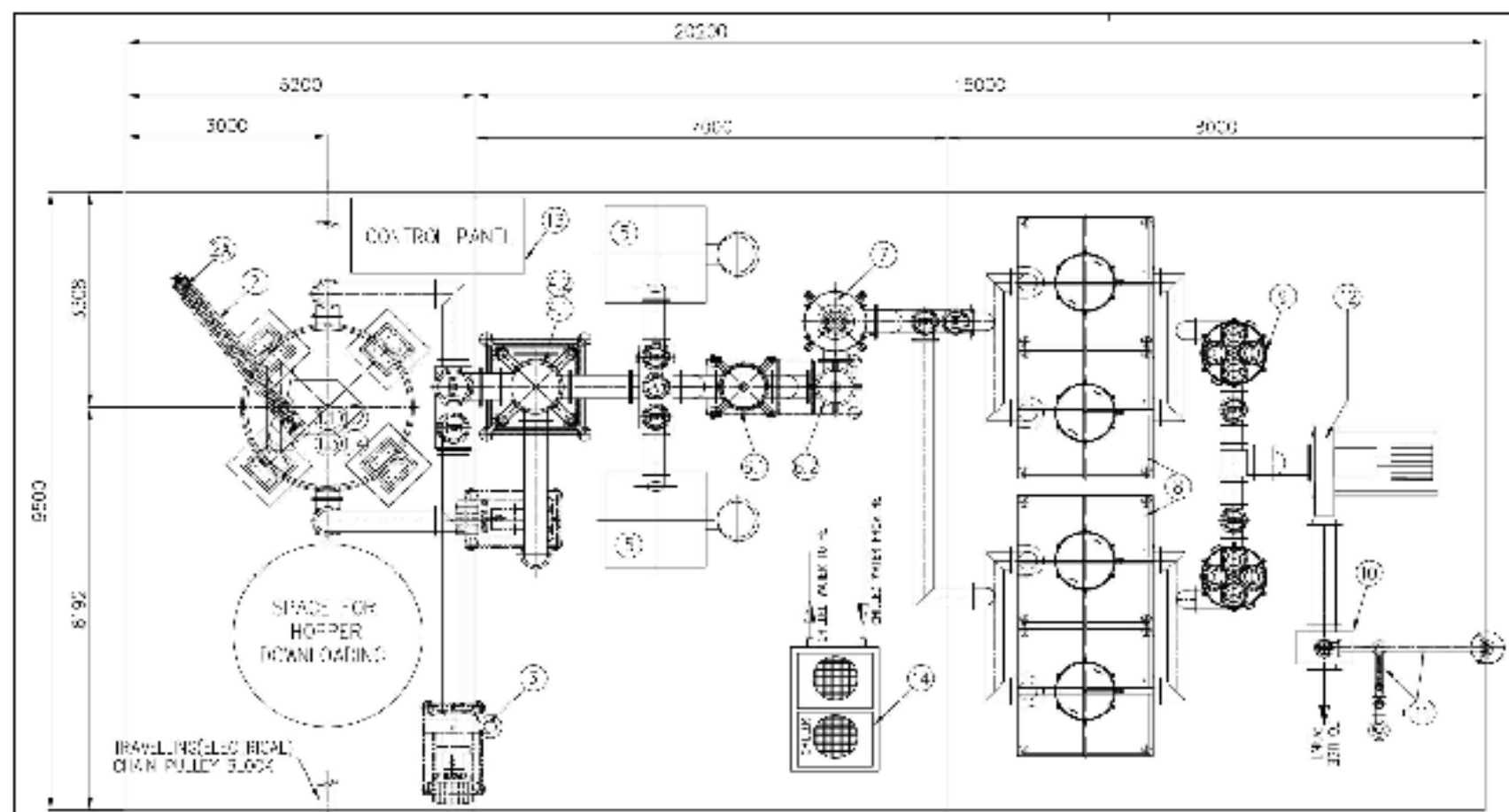
1:100

FECHA

10/12/2012

PÁGINA

II - 9



- 1 SISTEMA GASIFICADOR
- 2 TORNILLO SINFIN
- 2A COLECTOR DE CENIZAS SECAS
- 4 SISTEMA DE CONTROL DE LA TEMPERATURA DEL GAS
- 5 CICLÓN
- 6 INTERCAMBIADOR DE CALOR
- 7 LAVADOR HÚMEDO
- 8 FILTRO DE FINOS
- 9 FILTRO DE MANGAS
- 10 NEBULIZANTE DE AGUA
- 11 ANTORCHA
- 12 ESCAPE DE GAS PRODUCIDO
- 13 PANEL DE CONTROL
- 14 UNIDAD ENFRIADORA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

AUTOR Roberto Martínez Nájera	INGENIERÍA BÁSICA DE UNA PLANTA DE COGENERACIÓN CON BIOMASA	
	PLANO	PLANTA GASIFICADOR
ESCALA 1:100	FECHA 10/12/2012	PÁGINA II - 10

DOCUMENTO 3 :PLIEGO DE CONDICIONES



Índice

Índice de tablas.....	III-6
1. Descripción y objeto del pliego	III-7
1.1 Objeto del pliego	III-7
1.2 Descripción de las instalaciones.....	III-9
2. Normas generales	III-10
2.1 General	III-10
2.2 Seguridad y Salud laboral.....	III-11
2.3 Instalaciones.....	III-13
2.4 Medio Ambiente y Territorio	III-14
3. Condiciones de instalaciones y equipos	III-17
3.1 Prescripciones generales.....	III-17
3.2 Especificaciones técnicas de equipos e instalaciones.....	III-19
3.2.1 Astilladora	III-19
3.2.2 Secador	III-19
3.2.3 Grupo gasificador	III-20
3.2.4 Grupo motogenerador	III-21
3.2.5 Transformador.....	III-22
3.2.6 Instalación de Baja Tensión	III-23
3.2.6.1 Pruebas	III-23
3.2.6.2 Requisitos de diseño y constructivos.....	III-23
3.2.6.3 Interruptores automáticos.....	III-24



3.2.6.4	Cables.....	III-25
3.2.6.5	Canalizaciones eléctricas.....	III-26
3.2.6.6	Red de tierras.....	III-29
4.	Condiciones de ejecución, montaje y operación.....	III-31
4.1	Condiciones de suministro, montaje y operación.....	III-31
4.2	Anomalías en el funcionamiento, defectos o incumplimiento de especificaciones.....	III-31
4.3	Calidad de los materiales.....	III-32
4.4	Precauciones durante el montaje y funcionamiento	III-32
4.5	Gestión de residuos.....	III-32
4.5.1	Objeto.....	III-32
4.5.2	Subcontratación de gestores autorizados	III-33
4.5.3	Actividades.....	III-33
4.6	Control de accesos	III-34
5.	Condiciones de mantenimiento.....	III-35
5.1	Mantenimiento correctivo.....	III-35
5.1.1	Tiempos de respuesta.....	III-35
5.1.1.1	Incidencias críticas	III-35
5.1.1.2	Incidencias urgentes	III-36
5.1.1.3	Incidencias ordinarias	III-36
5.1.1.4	Servicio 24h.....	III-37
5.2	Mantenimiento preventivo.....	III-37
5.2.1	Revisión inicial de equipos e instalaciones y seguimiento de garantías.....	III-37
5.2.1.1	Periodo de implantación y seguimiento de garantías	III-37
5.2.1.2	Periodo de régimen normal	III-38



5.2.2	Programa de mantenimiento preventivo.....	III-39
5.2.2.1	Programa previo.....	III-39
5.2.2.2	Inventario de equipos e instalaciones	III-39
5.2.2.3	Programa definitivo	III-39
5.2.2.4	Instalaciones eléctricas	III-40
5.2.2.5	Instalaciones mecánicas y térmicas	III-41
5.2.2.6	Cerrajería y carpintería metálica.....	III-43
5.2.2.7	Fontanería y saneamiento	III-43
5.2.2.8	Instalaciones de protección contra incendios	III-45
5.2.2.9	Cubiertas y fachadas	III-46
6.	Pruebas de recepción.....	III-47
6.1	Equipos.....	III-47
6.1.1	Pruebas de funcionamiento secador	III-47
6.1.2	Pruebas de funcionamiento grupo gasificador	III-47
6.1.3	Pruebas de funcionamiento del motor	III-48
6.1.4	Pruebas de funcionamiento del alternador	III-48
6.1.5	Pruebas de funcionamiento del grupo modular	III-49
6.2	Estanqueidad de tuberías	III-50
6.2.1	Preparación y limpieza de redes de tuberías	III-50
6.2.2	Prueba preliminar de estanqueidad.....	III-50
6.2.3	Prueba de resistencia mecánica	III-50
6.2.4	Reparación de fugas	III-51
6.3	Pruebas de libre dilatación.....	III-51
6.4	Pruebas en redes de conductos	III-52
6.5	Estanqueidad de chimeneas.....	III-52
6.6	Pruebas finales	III-52



6.6.1	Ajuste y equilibrado	III-53
6.6.2	Control automático	III-54
6.7	Eficiencia energética.....	III-54
6.8	Certificado de la instalación y recepción provisional.....	III-55
6.9	Documentación a tramitar	III-55
6.9.1	Información a aportar por el productor	III-56
6.9.2	Información a aportar por Iberdrola	III-56
6.9.3	Información a entregar con el proyecto	III-56
7.	Medición y abono.....	III-59
8.	Condiciones que debe cumplir el ejecutor de la obra	III-61
8.1	Conocimiento previo del proceso y las tecnologías empleadas..	III-61
8.2	Seguros	III-61
8.3	Prevención de riesgos laborales.....	III-61
8.3.1	Seguridad e higiene	III-61
8.3.2	Plan de Seguridad y Salud	III-62
8.3.3	Planes de autoprotección y emergencia	III-62



Índice de tablas

Tabla 3.1 Resumen presupuesto	III-59
Tabla 3.2 Costes operación y mantenimiento	III-60
Tabla 3.3. Coste de la biomasa	III-60



1. Descripción y objeto del pliego

1.1 Objeto del pliego

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas tiene un doble objeto:

- Regular y definir el alcance y condiciones de la generación de energía eléctrica y térmica en la planta de cogeneración con biomasa.
- Regular y definir el alcance y condiciones de la prestación de los Servicios de Operación y Mantenimiento en la misma

En resumen, los Servicios citados consisten en los que se listan a continuación y que se describen con más detalle en los siguientes capítulos de este Pliego.

Generación de energía

Este servicio tiene por objeto satisfacer los cálculos realizados sobre la generación de energía eléctrica y térmica en la planta en cogeneración, mediante la utilización eficiente de los medios, equipos técnicos y de control energético disponibles.

Operación y Mantenimiento de las instalaciones técnicas

Este servicio tendrá que cumplir los siguientes fines esenciales:

- consecución del mejor estado de conservación de instalaciones, equipos y componentes que conforman las instalaciones.
- funcionamiento con continuidad y adaptado a las necesidades funcionales que en todo momento demande la planta
- mantenimiento necesario para minimizar número y tiempo de parada por averías.



- cumplimiento estricto de la normativa vigente.
- contribución a la sostenibilidad de la planta a través de un uso responsable de los recursos materiales utilizados.
- renovación y sustitución de los equipos que lo requieran, así como la realización de inversiones que permitan la optimización en la explotación de las instalaciones

Las instalaciones objeto de este concurso son, en resumen, las que pertenecen a la planta:

- Instalaciones y equipos de cogeneración de energía eléctrica y térmica.
- Sistema de control automático centralizado.
- Instalaciones eléctricas en Baja Tensión y Media Tensión.
- Instalaciones de Detección y Extinción de Incendios.
- Instalaciones de Fontanería.
- Instalaciones complementarias.

Estas instalaciones se describen con detalle en el Proyecto adjunto, donde también están incluidos los planos correspondientes.

Además, este edificio contiene una zona de oficinas y vestuario para su utilización por el personal de la planta, que además será responsable de:

- ✓ Implantación de los servicios de Limpieza, Control de Plagas y Gestión de Residuos.
- ✓ consecución del estado higiénico del edificio de acuerdo con la normativa vigente.
- ✓ contribución a la sostenibilidad de la planta mediante el uso responsable de los recursos materiales utilizados.
- ✓ Control de accesos



1.2 Descripción de las instalaciones

A continuación se detallan las características técnicas de las instalaciones:

Superficie parcela: 5.975 m²

Superficie nave almacenamiento de biomasa: 846 m²

Superficie edificio cogeneración: 840 m² (30x28x15m)

Superficie nave con puente grúa de 15 Tm: 640 m²

Superficie oficinas: 87,6 m²

Superficie almacén: 96 m²

Superficie aseo: 16,4 m²

Potencia eléctrica generada: 1.431,32 kWe

Potencia térmica generada: 1.617,84 kW

Potencia térmica disponible para la venta: 1280,42 kW

Horas de funcionamiento anuales: 7.500 h

Rendimiento Instalación: 54,4 %

Rendimiento Eléctrico Equivalente: 40,5 %



2. Normas generales

A continuación se detalla la normativa en la que se ha sustentado este proyecto:

2.1 General

Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Real Decreto 661/2007 de 25 de mayo por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

REAL DECRETO 222/2008, de 15 de febrero, por el que se establece el régimen retributivo de la actividad de distribución de energía eléctrica.

Real Decreto 1/2012 por el que se regula actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

Real Decreto 3151/1968 de 28 de Noviembre, por el que se aprueba el Reglamento Técnico de Líneas Eléctricas Aéreas de Alta Tensión.

Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09.

Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.

Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

Real Decreto 697/1995, de 28 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Registro de Establecimientos Industriales.



ITC-MIE-A-P 5. Instrucción Técnica Complementaria sobre Extintores de Incendios.

Norma UNE 20322 de clasificación de zonas debido a la presencia de vapores, gases o nieblas inflamables.

2.2 Seguridad y Salud laboral

REAL DECRETO 337/2010, de 19 de marzo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención; el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. BOE nº 71 23/03/2010.

Ley 31/1995 de 8 de Noviembre de prevención de riesgos laborales.

Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo (O.M. 31-1-40), siendo el capítulo VII de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene del 9-3-71, la que recoge artículos que siguen vigentes.

R.D. 485/1997 de 14 de Abril sobre Disposiciones mínimas en la materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo.

Real Decreto 486/1.997 de 14 de abril, sobre Seguridad y Salud en los lugares de trabajo.

Real Decreto 487/1.997 de 14 de abril, sobre Manipulación de cargas.

R.D. 1435/92 de 27 de Noviembre. Disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre máquinas.



R.D. 1215/1997 de 18 de Julio, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo.

R.D. 773/1997 de 30 de Mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

R.D. 1627/1997 de 24 de Octubre por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

Real Decreto 39/1.997 de 17 de enero, Reglamento de los Servicios de Prevención.

Estatutos de los Trabajadores (Ley 8/80 del 19 de marzo)

Convenios colectivos vigentes de la Construcción

Decreto de 269 de julio de 1957, sobre trabajos prohibidos a menores.

R. D. 1945/1986 de 25-5-86 por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad en Máquinas. Modificaciones posteriores al mismo (R.D. 590/1989, de 19-5-89), Orden 8-4-91, I. T. Complementaria MSG-SMI, R.D. 830/1991, de 24-5-91, R. D. 1435/1992 de 27-11-92

R. D. 886/1988 de 15 de julio sobre Prevención de Accidentes mayores en determinadas actividades industriales.

Directiva 89/106/C.E.E., sobre Productos de la Construcción.

Ley de Industria de 16-7-92 (B.O.E. 23-7-92)

Reglamentación aplicable para el funcionamiento de grúas móviles autopropulsadas (R.D. 1435/1992)

Ordenanza de Trabajo de la Construcción, Vidrio y Cerámica (O.M. 28-08-70, O.M. 28-07-77, O.M. 4-07-83, en los títulos no derogados).



2.3 Instalaciones

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto sobre Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Complementarias.

Normativa oficial de la compañía distribuidora de energía eléctrica.

Decreto 127/2003, de 30 de octubre, por el que se regulan los procedimientos de autorizaciones administrativas de instalaciones de energía eléctrica en Castilla y León.

Real Decreto 919/2006, de 28 de julio, por el que se aprueba el Reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias ICG 01 a 11.

Real Decreto 769/1999, de 7 de mayo de 1999, dicta las disposiciones de aplicación de la Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, 97/23/CE , relativa a los equipos de presión y modifica el Real Decreto 1244/1979, de 4 de Abril de 1979, que aprobó el Reglamento de aparatos a presión. BOE nº 129 31/05/1999.

Directiva 97/23/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de mayo de 1997 relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre equipos a presión

ITC-MIE-AP17 referente a Instalaciones de Tratamiento y Almacenamiento de aire comprimido (O. 28-6-1988. BOE 8-7-1988) (BOE 4-10-88).



2.4 Medio Ambiente y Territorio

Ley 10/1998, de 5 diciembre 1998. Normas reguladoras de la Ordenación del Territorio

LEY 14/2006, de 4 de diciembre, de modificación de la Ley 10/1998, de 5 de diciembre, de Ordenación del Territorio de la Comunidad de Castilla y León.

LEY 3/2008, de 17 de junio, de aprobación de las Directrices Esenciales de Ordenación del Territorio de Castilla y León.

LEY 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León.

REAL DECRETO LEGISLATIVO 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental de proyectos.

LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido.

REAL DECRETO 263/2008, de 22 de febrero, por el que se establecen medidas de carácter técnico en líneas eléctricas de alta tensión, con objeto de proteger la avifauna.

REAL DECRETO 1432/2008, de 29 de agosto, por el que se establecen medidas para la protección de la avifauna contra la colisión y la electrocución en líneas eléctricas de alta tensión.

Decreto Legislativo 1/2000, de 18 mayo 2000. Aprueba el Texto Refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental y Auditorías Ambientales de Castilla y León

Ley 16/2002 de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.



Ley 38/72, de 22 de diciembre, de protección del ambiente atmosférico (BOE número 309, del 26 de diciembre de 1972).

Decreto 833/75, de 6 de febrero, por el que se desarrolla Ley 38/72 de protección del ambiente atmosférico (BOE número 96, de 22 de abril de 1975. Corrección de errores: BOE número 137, de 9 de junio de 1975).

Real Decreto Legislativo 1/2001 de 20 julio por el cual se aprueba el Texto Refundido de la Ley de Aguas.

Ley 29/85, de 2 de agosto, de Aguas (BOE número 189, de 8 de agosto de 1985).

Real Decreto 849/86, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico que desarrolla los títulos preliminar, I, IV, V, VI y VII de la Ley de Aguas (BOE número 103, de 30 de abril de 1986. Corrección de errores: BOE número 157, de 2 de julio de 1986).

Real Decreto 927/88, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los títulos II y III de la Ley de Aguas (BOE número 208, de 31 de agosto de 1988. Corrección de errores: BOE número 234, de 29 de septiembre de 1988).

Orden de 23 de diciembre de 1986, por la que se dictan normas complementarias en relación con las autorizaciones de vertidos de aguas residuales (BOE número 312, de 30 de diciembre de 1986).

Orden de 12 de noviembre de 1987, sobre normas de emisión, objetivos de calidad y métodos de medición de referencia relativos a determinadas sustancias nocivas o peligrosas contenidas en los vertidos de aguas residuales (BOE número 280, de 23 de noviembre de 1987).

Orden de 13 de marzo de 1989, por la que se incluye en la de 12 de noviembre de 1987 la normativa aplicable a nuevas sustancias nocivas o



peligrosas que puedan formar parte de determinados vertidos de aguas residuales (BOE número 67, de 20 de diciembre de 1989).

Orden de 28 de junio de 1991, por la que se amplía el ámbito de aplicación de la de 12 de noviembre de 1987 a cuatro sustancias nocivas o peligrosas que pueden formar parte de determinados vertidos (BOE número 162, de 8 de julio de 1991).

Real Decreto 1315/92, de 30 de octubre, por el que se modifica parcialmente el Reglamento del Dominio Público Hidráulico aprobado por el Real Decreto 849/86, de 11 de abril (BOE número 288, de 8 de diciembre de 1992).

Real Decreto 484/95, de 7 de abril, sobre medidas de regulación y control de vertidos (BOE número 95, de 21 de abril de 1995).

Real Decreto 261/96, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por nitratos utilizados en la agricultura (BOE número 61, de 11 de febrero de 1996).

Real Decreto 833/88, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/86, básica de residuos tóxicos y peligrosos (BOE número 182, de 30 de julio de 1988).

Orden del 28 de febrero de 1989, por la que se regulariza la gestión de aceites usados (BOE número 57, de 8 de marzo de 1989).

Orden de 13 de junio de 1990, por la que se modifica el apartado decimosexto 2 y el Anexo II de la Orden del 28 de febrero de 1989 (BOE número 148, de 21 de junio de 1990).

Real Decreto 952/97, de 20 de junio, por el que se modifica el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/86, de 14 de mayo, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, aprobado mediante Real Decreto 833/88, de 20 de junio. (BOE número 160, de 5 de julio de 1997).



Ley 10/98, de 21 de abril, de residuos. (BOE número 96, de 22 de abril.

3. Condiciones de instalaciones y equipos

3.1 Prescripciones generales

El constructor empezará los trabajos en el plazo acordado por la contrata y el promotor de la obra. Se desarrollarán de la forma necesaria para que, dentro de los plazos marcados, queden ejecutados los trabajos correspondientes y, en consecuencia, la ejecución se lleve a cabo, dentro del plazo exigido en el contrato.

El orden de los trabajos será facultad de la contrata, salvo aquellos casos que, por circunstancias de orden técnico, se estime conveniente cambiar el orden.

Si, por causas mayores o, independientemente de la voluntad del constructor, éste no pudiera comenzar las obras, tuviera que suspenderlas, o no le fuera posible terminirlas en los plazos acordados, se le otorgará una prórroga para que cumpla la contrata, previo informe favorable del jefe de obra.

El contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de las obras, poniendo como excusa la carencia de planos u órdenes de la dirección facultativa, salvo en el caso de que, habiéndolo solicitado por escrito, no se les hubiesen proporcionado.

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta conformidad al proyecto, a las modificaciones del mismo, que previamente hayan sido aprobadas, y a las órdenes e instrucciones que, bajo su responsabilidad y por escrito,



entreguen las personas que hayan realizado el proyecto, dentro de las limitaciones presupuestarias.

El constructor empleará los materiales que cumplan las condiciones exigidas del pliego de condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho documento. Por ello, y hasta que tenga lugar la entrega de la obra, es responsabilidad del técnico y del jefe de obra todo lo que se haya instalado en la fábrica y, en caso de detectar defectos en los trabajos realizados o en los materiales empleados, podrá disponer la propiedad, que las partes defectuosas sean reemplazadas y reinstaladas de acuerdo con lo contratado, corriendo con los gastos que de ello se deriven los responsables de la obra.

El constructor deberá de presentar al Ingeniero Director de obra una lista completa de los materiales y de los aparatos que vaya a utilizar en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

A petición de los mismos, el constructor le presentará las muestras de los materiales siempre con la antelación prevista en el calendario de obra. Todos los materiales, elementos de las instalaciones o aparatos utilizados deberán de llevar sus certificaciones homologadas. En el caso de que éstos no cumplan suficientemente con las calidades exigidas, se dará la orden al constructor de retirarlos. Si, a los quince días de recibir la orden, ésta no ha sido cumplida, podrá hacerlo la propiedad, cargando con los gastos a la contrata. Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las instalaciones correrán a cuenta de la contrata.

Todo ensayo, que no haya resultado satisfactorio o, que no ofrezca las suficientes garantías, podrá comenzarse de nuevo a cargo de la contrata. El constructor deberá de mantener la obra limpia, así como sus alrededores, en cuanto a materiales sobrantes se refiere.



Los materiales nunca deberán de ocupar la zona de tránsito de peatones, debiéndose de guardar las correspondientes distancias de seguridad.

3.2 Especificaciones técnicas de equipos e instalaciones

Vienen recogidas de forma más amplia en el anexo de la memoria relativo a ellos, 'Especificaciones Técnicas de Equipos' (Documento 1, Anexo V).

3.2.1 Astilladora

Se ha seleccionado como astilladora el modelo Eschlböck Biber-3, que proporciona astillas de un tamaño mínimo de 10 mm de diámetro y 10 mm de longitud, y un tamaño máximo de 75 mm de diámetro y longitud.

3.2.2 Secador

El secado se realiza en un trommel AYPE de la empresa APISA, que cuenta con un sistema ECOFIBER, capaz de procesar todo tipo de maderas con presentación en astillas, chips o serrín. Además, está equipado en su interior por un sistema multivoltteo que alarga la permanencia del producto en el interior del trommel.

Dimensiones del trommel: Diámetro exterior 1.034 mm.

Diámetro útil 1.000 mm.

Longitud del cilindro 16.000 mm.



El conjunto del secadero trommel estará formado por una serie de elementos que se describen a continuación:

- Bancada soporte
- Tambor rotativo
- Sistema interior de palas
- Sistema de volteadores interiores
- Cono de salida del producto
- Sistema de estanqueidad entre trommel y tubería de decantación
- Sistema de aislamiento térmico y acústico de la parte cilíndrica del trommel

El fabricante garantiza la instalación durante un período de un año o 1000 horas de funcionamiento a partir de la puesta en marcha, siempre y cuando la instalación se realice de acuerdo a las instrucciones proporcionadas por el fabricante y a la normativa vigente.

3.2.3 Grupo gasificador

El gasificador es de tipo downdraft, modelo WBG-1250, fabricado por Ankur Scientific, que también suministrará el sistema de acondicionamiento del gas.

El gasificador es apto para trabajar con biomasa forestal, siempre y cuando su humedad sea inferior al 15% en base húmeda. El gas pobre obtenido tendrá un poder calorífico medio mayor de 1.100 kcal/Nm³.



Los elementos constituyentes del grupo gasificador son:

- Gasificador
- Sistema de acondicionamiento de gases
 - Un multiciclón en seco
 - Un intercambiador de temperatura aire/aire.
 - Un scrubber de agua (en circuito cerrado).
 - Un compresor con nebulizador de agua.
 - Un ciclón de separador de agua.
 - Un condensador.
 - Dos filtros de biomasa.
 - Un filtro de mangas.

El fabricante será el responsable de la instalación y puesta a punto de la instalación e implantación de los sistemas de control. Igualmente proporcionará las instrucciones y planos necesarios para su mantenimiento.

3.2.4 Grupo motogenerador

Se ha seleccionado del modelo *Jenbacher JMS 612 GS-BL* perteneciente al grupo *General Electric*, que se trata de un sistema de generación de energía totalmente integrado. El alternador empleado es el modelo *LSAC 52.2 L70* del fabricante *Leroy-Somer*. A plena carga, proporciona 1.458 kWe y 1.648 kW térmicos.

Las condiciones de servicio estándar serán conforme a DIN-ISO 3046 y conforme a VDE 0530 REM con la tolerancia correspondiente.

Las condiciones de referencia normales serán para un presión de aire de 1000 mbar y un temperatura de 25°C con una humedad relativa del 30%.



La calidad del gas deberá estar de acuerdo con TA 1000-0300, con una fluoropresión de 80-200mbar y un rango de oscilación del 10%.

El equipamiento básico del motor es el siguiente:

- Turbosobrealimentador de gas de escape, refrigerador mixto.
- Mezclador de gas de combustión/aire a motor como válvula reguladora LEANOX.
- Instalación de encendido de alta tensión electrónico sin contacto.
- Bomba de engranajes de aceite lubricante.
- Filtro de aceite lubricante en la corriente principal.
- Bandeja de aceite; intercambiador de calor de aceite lubricante
- Bomba de agua de refrigeración a motor.
- Conductos de gas combustible, aceite lubricante y agua refrigerante del motor.
- Grado de oscilación para el funcionamiento del generador; colector de escape.

El módulo se encuentra insonorizado y el fabricante proporciona la documentación necesaria para la instalación y mantenimiento, ocupándose de los trabajos de instalación.

3.2.5 Transformador

El transformador (Vegeta HE) de distribución será trifásico para instalación interior, con refrigeración natural en aceite (ONAN), de 50 Hz y cumplirá las características técnicas especificadas en la memoria (Documento 1, Anexo V).

Las normas según las que se construirá el transformador serán:



- UNE 21428, UNE 20101/CEI 76, así como UNE 21320, UNE 48103, UNE EN 60551, UNE 20110, UNE 20145, UNE 20596 y UNE EN 50 180.
- Otros documentos aplicables: HD 398, HD 428, ETU 5201 E y recomendaciones UNESA.

3.2.6 Instalación de Baja Tensión

3.2.6.1 Pruebas

Para realizar una inspección exhaustiva y tener seguridad de la funcionalidad del sistema se realizarán las siguientes comprobaciones:

- Comprobación de dimensiones físicas.
- Comprobación de rótulos.
- Comprobación de aparatos y materiales.
- Comprobación de apriete de tornillos (conexiones).
- Comprobación de pintura.
- Prueba de continuidad.
- Prueba de funcionamiento de circuitos.
- Prueba de funcionamiento de equipos.
- Prueba de funcionamiento de las protecciones eléctricas.

3.2.6.2 Requisitos de diseño y constructivos

El presente documento no pretende recoger todos los detalles constructivos de la instalación. Es responsabilidad del Instalador que dichos detalles constructivos estén de acuerdo con las técnicas más avanzadas.

Toda la documentación citada o que se adjunta a esta Especificación se considerará como formando parte de ésta.



3.2.6.3 Interruptores automáticos

- Hasta 40 A

Serán, de 4 polos y para un poder de corte de 30 kA. Dispondrá de relés magnéticos y térmicos desenchufables con regulación independiente. El accionamiento será mediante maneta de embrague con eje prolongador. Dicha maneta será candable y dispondrá de 3 posiciones, paro, marcha y disparado. En los circuitos accionados a distancia dispondrá de motor lateral con conmutador de seguridad (local-remoto) y 3 posibilidades de mando (marcha-paro y reset).

- De 63 A a 630 A

Serán de 4 polos y para un poder de corte de 65 o 100 kA, según los casos, dispondrán de relés térmicos y magnéticos intercambiables con regulación independiente. El tipo de caja moldeada será transparente con el fin de poder visualizar el estado de los contactos principales.

El accionamiento será mediante maneta de embrague con ejes prolongador, con posibilidad de ser candada con posiciones (paro-marcha y disparado). Tendrán posibilidad de accionamiento motorizado, bobinas de mínima y disparo y contactos de posición y defecto.

- A partir de 800 A

Serán del tipo de bastidor, 4 polos con un poder de corte de 65 ó 100 kA, según los casos. El accionamiento será mediante pulsadores previo tensado del muelle. En el caso de los propios del generador dispondrán de accionamiento motorizado, así como bobinas de mínima retardadas para evitar la desconexión ante fallos. Todos ellos dispondrán de sus palas de conexión frontal de la sección necesaria en cada caso.



La protección diferencial en los automáticos de entrada se realizará mediante toroidales con regulación de la sensibilidad de defecto, así como del retardo a la desconexión que actuará sobre la bobina de disparo del propio interruptor.

3.2.6.4 Cables

Los Cables de la instalación serán fácilmente identificables, según el Código de Cables:

Fase "R" – Gris

Fase "S" – Marrón

Fase "T" – Negro

Tierra - Amarillo-Verde

Los cables estarán constituidos por conductores de cobre recocido. El aislamiento será de Etileno propileno y la cubierta exterior resistente a la abrasión, serán del tipo DV-0.6/1 kV para una tensión de prueba de 3500 V - s/UNE 21123.

Se instalará un cable de tierra por circuito aislado y canalizado junto a los restantes hilos activos.

La rigidez dieléctrica y la resistencia de aislamiento cumplirán las condiciones y pruebas señaladas en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

Los conductores se instalarán en tramos continuos, sin empalmes, y de tal forma que no se produzca deterioro en su aislamiento al canalizarlos.

Es condición indispensable que los conductores se introduzcan en los tubos después de instalados éstos. Cualquier conductor que se



compruebe defectuoso por manipulación o cualquier otra causa, será rechazado.

Todas las conexiones de cables se realizarán en el interior de cuadros o cajas de conexiones, mediante bornas de tamaño adecuado a la sección de cable. El cable llevará terminal con preaislamiento, de tipo ojal, adecuado a la sección del cable.

Las regletas de bornas, cables y puntas de cable, irán marcados con marcadores.

No se permitirá escribir directamente sobre el cable o bornas.

No se colocará más de dos puntas de cable en cada terminal de bornas.

Cuando haya necesidad de más puntas se usarán bornas de más de dos terminales.

En las regletas de salida de cuadros, solamente se admite una punta de cable en cada terminal de borna.

3.2.6.5 Canalizaciones eléctricas

El diseño de las canalizaciones eléctricas para cables de interconexión entre equipos, se realizará teniendo en cuenta los siguientes criterios básicos:

- Bandejas

La red general de la canalización de cables se realizará mediante bandeja metálica, tipo ranurada o coraza, fabricada en acero inoxidable 316. Serán aptas para la entrada/salida de cables con gran facilidad y montaje de cajas de empalme o derivación en cualquier parte de la instalación.



Se emplearán bandejas de 100 y 200 según se precise, siendo cada canalización uniforme en su sección de principio a fin del recorrido.

El llenado de las bandejas se limitará en lo posible a un 80% disponiendo los cables tendidos en una sola capa y en contacto mutuo.

La canalización será continua, debiéndose prever los accesorios precisos para cruces, derivaciones, codos, cambios de plano, etc.

El radio mínimo de giro de la bandeja no deberá ser inferior a 330 mm.

El soportado de la bandeja se realizará mediante estructuras de acero inoxidable 316 que presenten cosas planas en la zona de apoyo al objeto de facilitar el montaje y fijación de éstas.

Los soportes se espaciarán entre sí, a lo largo del recorrido de las bandejas, una distancia que oscile alrededor de los 2 m, dependiendo de la carga y configuración de la red.

En esta Especificación solamente están previstas las canalizaciones para Fuerza Baja Tensión que contienen únicamente cables de alimentación de energía a equipos que operan a tensiones nominales de 380 V c.a. Para cables de Fuerza Media, tensión, control e Instrumentación se deberán prever canalizaciones independientes que garanticen la separación de los cables que utilicen distintos niveles de tensión, para lo cual, estas canalizaciones pueden discurrir por caminos paralelos o superpuestos por el siguiente orden; MT, BT, C e I.



- Tubos

La canalización de los cables desde la red general de bandejas hasta el punto de entrada a los distintos equipos se realizará mediante tubos de acero inoxidable 316.

Los tubos, sus roscas y sus accesorios tales como registros, codos, manguitos, etc. serán de medidas normalizadas al objeto de que sean intercambiables. Estarán puestos a tierra mediante bridas mordaza adecuados a su tamaño. Los cables que lleguen a cajas terminales de motores, etc. y donde se prevén vibraciones o dilataciones serán flexibles, protegidos exteriormente mediante funda de EPR.

En aquellas zonas donde sea posible que agua u otros líquidos puedan entrar en los conductos, la disposición de dichos conductos será inclinada y con dispositivos de drenaje.

Los diámetros interiores nominales mínimos para los tubos, estarán en función de que su llenado no pase del 40% de la sección recta del tubo.

El montaje se efectuará al descubierto. También se empotrarán en la estructura de hormigón o rozas, según se indique.

Tanto en los tramos rectos como en los curvos las tuberías deberán montarse con la suficiente perfección, sin salientes ni rebanas, para que los conductores al ser canalizados en su interior no sufran deterioro alguno en su aislamiento y para que en todo caso puedan ser fácilmente revisados y sustituidos. El número de curvas en ángulo recto situadas entre dos registros consecutivos no será superior a 3. Generalmente irán grapados a las estructuras metálicas y la distancia entre abrazaderas será, como máximo de 0,80 m. Se dispondrán fijaciones de una y otra parte de los cambios de dirección y a no más de 5 cm de las entradas de los tubos en las cajas y en los aparatos.



Los tubos se unirán entre sí mediante los accesorios adecuados que aseguren la continuidad de la protección que proporcionan a los conductores y la debida estanqueidad.

- Cajas de Derivación y/o Empalme

Las cajas serán de tipo comercial y buena calidad, procurándose la mayor unificación posible en aspecto, forma y dimensiones.

Serán de material aislante de características de aislamiento y resistencia mecánica equivalente a los tubos y serán igualmente no propagadores de llama.

Podrán ser de sección circular o cuadrada y sus dimensiones serán tales que permitirán alojar holgadamente todos los conductores que deben contener y su profundidad equivaldrá, cuando menos, al diámetro del tubo mayor más un 50% del mismo, con un mínimo de 40 mm de profundidad y 80 mm de diámetro o lado interior, irán provistas de tapa y llevarán orificios de paso para alojamiento de tubos con prensaestopas, manguito o equivalente para sujeción de los tubos. Las salidas irán roscadas de acuerdo con los pasos normalizados correspondientes a los tubos.

3.2.6.6 Red de tierras

La malla principal de tierra se unirá a la red general de tierra del complejo industrial en un mínimo de dos puntos mediante cable de Cu desnudo de 70 mm².

Se establecerá una red para todo el sistema de B.T. y para conexionado de equipos y estructuras.



- Para la red de tierra aérea se utilizará cable desnudo de cobre trenzado, red general de 150 mm² de sección y derivaciones de 70 mm².
- Las uniones de los cables aéreos se realizarán por soldaduras de fusión o por grapas adecuadas a los diámetros de los cables a unir.
- La conexión a los equipos o estructuras se realizará por medio de terminales atornillados a los equipos.
- El hoyo que previamente se hará antes de hincar las picas será tratado con sulfato de magnesio u otras sales minerales que ayuden a disminuir la resistencia del terreno, de forma que el valor de la misma no supere los 20 W.
- El cable enterrado en zonas a la intemperie será cubierto por un mínimo de 800 mm de tierra. El cable de tierra enterrado debajo de hormigón pobre, en zonas bajo cubierta y en zonas a la intemperie, se instalará a un mínimo de 350 mm debajo del nivel terminado.

Se realizará una inspección de todas las uniones de puesta a tierra en el sistema para controlar la correcta realización de la misma y de la continuidad.

Al terminar la red de tierras, se medirá y se anotará la resistencia de la puesta a tierra; para medir, se empleará un aparato medidor de tierras (telurómetro).



4. Condiciones de ejecución, montaje y operación

4.1 Condiciones de suministro, montaje y operación

El suministro de los materiales y equipos, su montaje y puesta en marcha, debe cumplir con las especificaciones técnicas definidas en la Memoria del presente Proyecto, así como con las condiciones establecidas en los manuales de instalación, operación, puesta en marcha y mantenimiento de los fabricantes de los equipos principales (motores de gas, alternador, gasificador, sistema de acondicionamiento de gases, secador, etc...).

4.2 Anomalías en el funcionamiento, defectos o incumplimiento de especificaciones

Si durante el transporte de los equipos, éstos sufrieran algún desperfecto, el coste de su reparación será imputado a la Propiedad o al Fabricante del equipo, en función de quién se encargue de su transporte. Será preciso la contratación de un seguro para cubrir los posibles costes.

Tras finalizar el montaje los técnicos proporcionados por los fabricantes realizarán las pruebas necesarias para verificar el cumplimiento de las especificaciones por parte de los equipos. En caso de no cumplimiento u omisión de especificaciones no será admitido como válido el equipo, siendo responsabilidad del fabricante el proporcionar el equipo que cumpla las especificaciones. Ante la posibilidad de anomalías en el funcionamiento se estudiará la causa, para determinar el responsable.



4.3 Calidad de los materiales

Aquellos materiales cuyas características no hayan quedado especificadas, cumplirán con lo dispuesto en las normas que les sean de aplicación.

4.4 Precauciones durante el montaje y funcionamiento

Durante el montaje de los equipos, se adoptan las precauciones necesarias (señalización, cobertura, cierre, etc.) para evitar en lo posible los accidentes, tanto por tránsito de personal como por la circulación de vehículos o causas de índole atmosférica.

Se atenderá a la norma y rigor al respecto, tanto de carácter general como las aplicables a los equipos concretos.

Los cuidados para su uso, mantenimiento y seguridad, estarán a cargo de la propiedad o de la empresa autorizada, de conformidad con los criterios establecidos y de acuerdo con la legislación vigente.

4.5 Gestión de residuos

4.5.1 Objeto

La gestión de los residuos generales recoge el conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos producidos en la planta el destino final más adecuado de acuerdo con sus características y en orden al tratamiento que, como tales, se dispone a la garantía de la protección de la salud humana, la defensa del medio ambiente y la preservación de los recursos naturales. Esta gestión comprende las operaciones de recogida selectiva, almacenamiento, transporte y eliminación de los residuos.



4.5.2 Subcontratación de gestores autorizados

La gestión de residuos provenientes de oficina, urbanos, químicos y tóxicos se realizará por una empresa gestora especializada y autorizada por la Comunidad de Castilla y León, subcontratada por el Adjudicatario certificada en las normas ISO 9001:2000 e ISO 14001:2004, en la que se acredita, la implantación de su sistema de gestión medioambiental, para actividades de gestión de residuos peligrosos y no-peligrosos.

4.5.3 Actividades

El responsable de la planta llevará a cabo por sí o por empresa subcontratada las actividades siguientes:

- a) Tramitar toda la documentación necesaria para realizar la gestión de los residuos.
- b) Identificar y aportar medios de almacenaje y conservación.
- c) Realizar segregación en origen, definiendo condiciones de segregación de acuerdo a la clasificación de los tipos de residuos establecida en la normativa vigente de aplicación a los residuos generados.
- d) Identificar oportunidades de reciclaje y establecer programas de reciclaje.
- e) Con la frecuencia necesaria, llevar los residuos segregados a los contenedores de recogida selectiva si fuesen designados como puntos de recogida intermedios.
- f) Recoger, transportar y eliminar los residuos.



g) La empresa de gestión de residuos acudirá con las frecuencias necesarias para que no se desborden los contenedores selectivos en ningún momento.

h) Tras la recogida, la subcontratista gestora de residuos procederá al transporte y deposición en destino final, obteniendo el certificado de eliminación correspondiente.

i) Se mantendrá un archivo actualizado con todos los certificados emitidos.

Se practicará periódicamente un control de calidad, cuyos resultados se reflejarán por escrito en el informe correspondiente.

4.6 Control de accesos

Es responsabilidad del Jefe de Planta asegurar el control de acceso a las personas autorizadas a las dependencias de la planta, con atención especial a zonas de instalaciones clave y almacenes. Asimismo, una vez vacío de personal el edificio, asegurará el cierre de puertas.



5. Condiciones de mantenimiento

5.1 Mantenimiento correctivo

Se establecerá un sistema informatizado para atención a las incidencias y un único punto de atención, gestión y comunicación de su resolución.

5.1.1 Tiempos de respuesta

Se distinguen varios tiempos de respuesta en función del tipo de incidencia que se reciba.

5.1.1.1 Incidencias críticas

Son incidencias críticas aquellas que afectan a la seguridad de las personas o los bienes.

Tiempo de atención: inmediato

Tiempo de presencia de personal cualificado: inmediato

El personal de mantenimiento proveerá la solución definitiva o al menos una solución provisional, de manera que esta avería adquiera el carácter de Urgente.

A título meramente enunciativo las averías o incidencias críticas pueden ser motivadas por y no limitadas a:

- Cortocircuitos o averías eléctricas que imposibiliten la puesta en servicio total o parcial de las instalaciones.
- Explosiones en cualquier tipo de maquinaria
- Incendios
- Escapes de combustible de cualquier tipo



- Inundaciones
- Peligro de desprendimiento de elementos de fachada y cubiertas, incluidos rótulos.
- Actos vandálicos o atentados

Se atenderán estas averías en las condiciones indicadas, quedando su partida anual incluido en el apartado 'Costes de operación y mantenimiento' incluido en el apartado 'Análisis económico' (D1 A-I)

Semestralmente, se realizará un informe de gestión donde se reflejen los datos y resultados obtenidos, aparte de los informes mensuales de actividad.

5.1.1.2 Incidencias urgentes

Son incidencias urgentes aquellas que paralizan el desarrollo normal de la actividad en una o más zonas de la planta.

Tiempo de atención: inmediato

Tiempo de presencia de personal cualificado: inmediato

El personal de mantenimiento proveerá la solución definitiva o al menos una solución provisional, de manera que esta avería adquiera el carácter de Normal.

5.1.1.3 Incidencias ordinarias

Son aquellas que no afectan a la seguridad de las personas o los bienes ni paralizan la actividad normal.

Tiempo de atención: igual o menor a 2 horas



Tiempo de presencia de personal cualificado: igual o menor a 4 horas.

5.1.1.4 Servicio 24h

Se proveerá, dentro del precio de los costes de mantenimiento, la atención a las incidencias críticas y urgentes 24 horas al día durante los 365 días al año con los recursos técnicos y humanos necesarios para cumplir con los requisitos de tiempos de respuesta indicados más arriba.

5.2 Mantenimiento preventivo

5.2.1 Revisión inicial de equipos e instalaciones y seguimiento de garantías

Dado que se trata de unas instalaciones nuevas, con un periodo corto de funcionamiento, y que por tanto están cubiertas por la Garantía de las Empresas Instaladoras y Fabricantes, se establecen dos Periodos dentro de lo que es el desarrollo del contrato:

5.2.1.1 Periodo de implantación y seguimiento de garantías

Abarca el periodo comprendido entre la adjudicación del contrato y la expiración de las garantías de los equipos e instalaciones.



En esta fase comenzará propiamente la explotación de las instalaciones, por lo que podrán detectarse averías o deficiencias cuyas causas sean imputables a defectos de ejecución o de diseño.

Por tanto, esta fase conviene diferenciarla de la posterior en los siguientes aspectos, siendo en todo lo demás semejante:

- Cualquier operación significativa de mantenimiento correctivo que deba de abordarse, se comunicará con información suficiente para que manifieste su opinión sobre si procede reclamar en base a las garantías en vigor.
- El adjudicatario gestionará en el aspecto técnico la reclamación de las garantías vigentes de equipos, sistemas y materiales a los fabricantes, instaladores o constructores, salvo instrucciones en contra, para lo que se le facilitará la documentación relativa a la expiración de plazo de garantía para equipos y materiales.

5.2.1.2 Periodo de régimen normal

Comprenderá desde la expiración de las garantías de elementos afectados por las mismas, hasta el final del contrato.

Todos los defectos, averías y problemas en equipos e instalaciones que no sean detectados ni descritos en la primera fase, se considerará que son averías y reparaciones propias de los trabajos de mantenimiento objeto de la oferta.



5.2.2 Programa de mantenimiento preventivo

5.2.2.1 Programa previo

Se presentará un programa de mantenimiento preventivo para los equipos e instalaciones de los edificios, en el que se recogerán número y periodicidad de las operaciones. Para ello se tomarán en cuenta las indicaciones que se recogen en el presente pliego.

5.2.2.2 Inventario de equipos e instalaciones

Se dispondrá de un inventario informatizado de las instalaciones y equipos del edificio, indicando elementos, marca, modelo, potencia, número y ubicación de los mismos; para ello se utilizará un documento técnico descriptivo.

El cambio de cualquier elemento o equipo objeto de mantenimiento por otro, que suponga un cambio en sus características, deberá ser consultado previamente a la dirección de la planta para su aprobación e igualmente deberá reflejarse dicha modificación en el correspondiente inventario.

5.2.2.3 Programa definitivo

Este plan se entregará a la dirección de la planta para su aprobación por parte del Jefe de Mantenimiento, quien podrá realizar cuantas modificaciones estime oportunas, permaneciendo siempre una copia actualizada en su poder.

Cada uno de los elementos y equipos de las instalaciones dispondrá de una tabla de mantenimiento, elaborada en detalle, debiendo especificar y realizar los cambios, comprobaciones, engrases, verificaciones, limpiezas, inspecciones, medidas, ajustes, reglajes, regulaciones, etc. según normativa vigente y las revisiones obligatorias impuestas por los distintos reglamentos. Especialmente



se incluirán todas y cada una de las revisiones recomendadas por los fabricantes de todos los equipos que están instalados en la planta.

5.2.2.4 Instalaciones eléctricas

Son todas aquellas de este tipo que se encuentran tanto en el edificio de generación como en la nave de almacenamiento. A título informativo comprenden, no estando limitadas a:

- Módulo de cogeneración
- Baterías de condensadores
- Cuadros de contadores
- Líneas de enlace
- Cuadro de distribución
- Circuitos interiores
- Línea de puesta a tierra
- Protección contra contactos directos
- Protección contra sobreintensidades
- Receptores de alumbrado
- Receptores de fuerza
- Otros receptores
- Otros elementos y accesorios.

Se realizará una codificación de los elementos que componen dicha instalación, manteniéndose un fichero en el que reflejen la cantidad y ubicación de cada uno de ellos.

Mantenimiento preventivo

Acorde a la periodicidad que se fije para cada edificio e instalación se realizarán las labores tabuladas en la respectiva gama de frecuencias y Reglamentos vigentes, así como las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, con el objetivo de la conservación de los equipos de manera que al final del periodo del



contrato se encuentren en las mismas condiciones en que comenzaron.

Anualmente se entregará un boletín de reconocimiento, según formato legalmente aprobado.

La empresa deberá confeccionar un libro Registro de Mantenimiento y Revisión de acuerdo con lo prescrito en la normativa vigente.

Mantenimiento correctivo

Se realizará una codificación de los distintos tipos de avería ocurridos manteniéndose un fichero en el que se reflejen dichos tipos y la frecuencia de cada uno.

5.2.2.5 Instalaciones mecánicas y térmicas

A título informativo comprenden, pero no están limitadas a:

- Equipos de recuperación e intercambio de calor
- Equipos de producción de calor
- Equipos de acumulación de calor
- Torres de refrigeración y condensadores
- Equipos de tratamiento de agua
- Bombas, válvulas y tuberías
- Sistema de control
- Conductos, difusores, rejillas, etc.
- Contadores y otros elementos de control
- Otros elementos y accesorios

Se realizará una codificación de los elementos que componen dicha instalación, manteniéndose un fichero en el que reflejen la cantidad, sistema, características, tipo y ubicación de cada uno de ellos.



Mantenimiento preventivo

Acorde a la periodicidad que se fije para cada edificio e instalación se realizarán las labores tabuladas en la respectiva gama de frecuencias y reglamentos vigentes, se realizarán las siguientes operaciones en cada equipo:

- Medida de tensiones de alimentación.
- Medida del consumo en cada fase de bombas y compresores.
- Medida del consumo en cada fase de extractores y ventiladores.
- Medida del consumo de resistencias eléctricas.
- Medida de temperaturas de impulsión y retorno.
- Medida nivel de ruido con equipo en marcha y parado.
- Limpieza intercambiadores interior y exterior.
- Limpieza y/o sustitución de filtros.
- Verificación correas y/o poleas.
- Verificación funcionamiento desagüe.
- Verificación funcionamiento mando compuertas.
- Verificación ausencia de vibraciones anómalas.
- Comprobación funcionamiento correcto de elementos de control.

En cualquier caso las instalaciones deberán cumplir la legislación vigente.

Mantenimiento correctivo

Se realizará una codificación de los distintos tipos de avería ocurridos manteniéndose un fichero en el que se reflejen dichos tipos, frecuencia de cada uno, fungibles y materiales empleados.



5.2.2.6 Cerrajería y carpintería metálica

Son todos los elementos de este tipo existentes en los edificios de este proyecto. A título informativo comprenden, no estando limitados a:

- Cerraduras.
- Llaves.
- Perfilería de hierro, metálica y madera (puertas, ventanas, cerramientos).
- Otros elementos y accesorios.

Mantenimiento preventivo

Mensualmente se realizará una operación de mantenimiento preventivo realizando, como mínimo, las siguientes operaciones:

- Revisión cerraduras.
- Revisión de llaves.
- Revisión de vidrios y cristales.
- Engrases y otros.
- Mantenimiento correctivo

Se realizará una codificación de los distintos tipos de avería ocurridos manteniéndose un fichero en el que se reflejen dichos tipos, frecuencia de cada uno, fungibles y materiales empleados.

5.2.2.7 Fontanería y saneamiento

Son todos aquellos elementos de este tipo existentes en la planta. A título informativo comprenden, no estando limitados a:

- Contadores.
- Red de suministro de agua.
- Llaves de paso y de corte.
- Grifería y elementos terminales.



- Red de evacuación de aguas.
- Sanitarios y calentadores de agua.
- Equipos de bombeo.
- Niveles de agua.
- Otros elementos y accesorios.

Se realizará una codificación de los elementos que componen dicha instalación manteniéndose un fichero en el que se refleje la cantidad y ubicación de cada uno de ellos.

Mantenimiento preventivo

Acorde a la periodicidad que se fije para cada edificio e instalación se realizarán las labores tabuladas en la respectiva gama de frecuencias y Reglamentos vigentes, si bien mensualmente se efectuará una operación de mantenimiento preventivo, realizando, como mínimo, las siguientes operaciones:

- Revisión funcionamiento contadores y limpieza de filtros.
- Revisión red de suministro de agua, incluye detección y arreglo de fugas.
- Revisión de llaves de paso.
- Revisión red de evacuación de agua.
- Revisión, desatasco, limpieza y reparación de desperfectos en sifones, arquetas, desagües, sumideros etc.
- Revisión calentadores de agua.
- Revisión funcionamiento de la instalación.

Las instalaciones deberán cumplir la legislación vigente.

Mantenimiento correctivo

Se realizará una codificación de los distintos tipos de avería ocurridos manteniéndose un fichero en el que se reflejen dichos tipos, frecuencia de cada uno, fungibles y materiales empleados.



5.2.2.8 Instalaciones de protección contra incendios

Comprenden todas las instalaciones contra incendios reflejadas en el anexo 'Instalación contra incendios' (D1 A-VI)

Se realizará una codificación de los elementos que componen dicha instalación manteniéndose un fichero en el que se refleje la cantidad, tipo y ubicación de cada uno de ellos. Las instalaciones se deben mantener dentro de la normativa vigente.

Mantenimiento Preventivo

El Adjudicatario deberá estar inscrito, en la Comunidad Autónoma de Castilla y León como empresa mantenedora de este tipo de instalaciones y cumplir todos los requisitos que para el desempeño de dicha actividad exija la legislación vigente, en especial el R.D. 1941/1993 sobre Protección contra Incendios, retimbrado de extintores y Revisiones periódicas o cualquier otra norma o ley existente o que pudiera dictarse en el futuro.

Igualmente, el Adjudicatario deberá figurar como empresa Mantenedora de Protección Contra Incendios, homologada por el Ministerio de Industria y Energía, según Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios contenido en el Real Decreto antes citado.

Las operaciones de mantenimiento y sus frecuencias se realizarán en base a las tablas definidas según la legislación vigente, a título enunciativo incluirán:

- Comprobación del funcionamiento del sistema de detección de incendios.
- Comprobación del funcionamiento de los detectores.
- Comprobación del funcionamiento del sistema de alarma.
- Comprobación del funcionamiento de los elementos ópticos-acústicos.
- Verificación de extintores.



Mantenimiento Correctivo

Se realizará una codificación de los distintos tipos de avería ocurridos manteniéndose un fichero en el que se reflejen dichos tipos, frecuencia de cada uno, fungibles y materiales empleados.

5.2.2.9 Cubiertas y fachadas

Las cubiertas se mantendrán despejadas de objetos extraños y materiales o elementos sobrantes, comprobando la ausencia de grietas, perforaciones y otros desperfectos que puedan originar goteras o filtraciones de cualquier tipo.

Quincenalmente se efectuará una limpieza general de la cubierta y los sumideros, retirando los elementos de desecho encontrados

Se cuidará especialmente que se utilice la cubierta como zona de almacenaje y depósito. Igualmente se verificará el estado de la pintura y de los elementos que configuren el solado y petos.

Aquellas conducciones o elementos de otras instalaciones que discurran por la cubierta se mantendrán acorde a la instalación a la que pertenezcan, si bien se tomarán las medidas necesarias para minimizar el efecto intemperie.

Se tomarán las acciones correctivas necesarias para mantener en perfecto estado operativo dichas cubiertas.

Se realizará una codificación de los distintos tipos de avería ocurridos manteniéndose un fichero en el que se reflejen dichos tipos, frecuencia de cada uno, fungibles y materiales empleados.



6. Pruebas de recepción

Las pruebas de la instalación se efectuarán por la empresa instaladora, en presencia del instalador autorizado y de la Dirección Facultativa.

6.1 Equipos

Se tomará nota de los datos de funcionamiento de los equipos y aparatos, que pasarán a formar parte de la documentación final de la instalación.

Los quemadores se ajustarán a las potencias de los generadores y se medirán los rendimientos de los conjuntos caldera-quemador.

6.1.1 Pruebas de funcionamiento secador

Se realizarán ensayos a diferentes niveles de carga para comprobar el correcto funcionamiento del trommel con cargas de 100 %, 75 % y 50 % de la capacidad total.

6.1.2 Pruebas de funcionamiento grupo gasificador

Una vez instalado el grupo gasificador, se efectuará una prueba del grupo y se extenderá el certificado correspondiente. Entre otras se realizarán las pruebas siguientes:

- Control visual de todos los equipos según relación de prestaciones
- Verificación del funcionamiento, siguiendo la especificación técnica del equipo de control
- Arranques manual y automático
- Regulación de la carga en servicios manual y automático



- Funcionamiento de todos los dispositivos de seguridad en el grupo
- Mediciones bajo carga de 100 %, 75 % y 50 %
- Consumo de combustible
- Temperatura de operación
- Emisiones

6.1.3 Pruebas de funcionamiento del motor

De acuerdo con DIN 3046 en la banco de pruebas de GE JENBACHER, incluyendo el certificado correspondiente. Se realizarán los siguientes ensayos con cargas de 100 %, 75 % y 50 % de la:

- Potencia del motor
- Consumo de combustible
- Temperaturas del agua de refrigeración
- Presión del aceite de lubricación
- Temperaturas del aceite de lubricación
- Presión de carga
- Temperatura de escape en cada cilindro

La prueba del motor se realizará con un alternador de prueba, en caso de que el motor a suministrar sea de media tensión, o por causa de cumplimiento de plazos. Para probar determinadas propiedades mencionados mas arriba, de los componentes que no se pueden comprobar en el banco de pruebas de GE JENBACHER se remitirán los correspondientes certificados del fabricante.

6.1.4 Pruebas de funcionamiento del alternador

Ejecutados en fábrica por el fabricante del alternador.



6.1.5 Pruebas de funcionamiento del grupo motogenerador

Una vez instalado el grupo motogenerador, se efectuará una prueba del grupo modular en conjunto junto con el armario de control en el banco de pruebas de GE JENBACHER según ISO 8528, DIN 6280; y se extenderá el certificado correspondiente. Entre otras se realizarán las pruebas siguientes:

- Control visual de todos los equipos según relación de prestaciones
- Verificación del funcionamiento, siguiendo la especificación técnica del equipo de control
- Arranques manual y automático del grupo modular
- Regulación de potencia en servicios manual y automático
- Funcionamiento de todos los dispositivos de seguridad en el grupo
- Mediciones bajo carga de 100 %, 75 % y 50 %
- Frecuencia
- Voltaje
- Intensidad
- Potencia del alternador
- Factor de potencia
- Consumo de combustible
- Presión de aceite detrás del filtro
- Temperatura del agua de refrigeración en la salida del motor
- Presión de carga
- Temperatura de la mezcla
- Emisiones de NOx en el escape



6.2 Estanqueidad de tuberías

6.2.1 Preparación y limpieza de redes de tuberías

Antes de realizar la prueba de estanqueidad y de efectuar el llenado definitivo, las redes de tuberías de agua serán debidamente limpiadas internamente para eliminar los residuos procedentes del montaje. Este montaje se realizará con agua en todos los casos.

Se comprobará que los aparatos y accesorios de la red a probar pueden soportar la presión a la que se van a someter.

Antes de poner en funcionamiento la instalación se medirá el pH del agua de los circuitos de calefacción y primario de agua caliente sanitaria, y se comprobará que este está por debajo de 7,5.

6.2.2 Prueba preliminar de estanqueidad

Se efectuará a baja presión buscando fallos de continuidad de la red y tendrá la duración suficiente para verificar la estanqueidad de todas las uniones.

6.2.3 Prueba de resistencia mecánica

Todas las redes de circulación de fluidos portadores deben ser probadas hidrostáticamente, a fin de asegurar su estanqueidad, antes de quedar ocultas por obras de albañilería, material de relleno o por material aislante.

Esta prueba tendrá la duración suficiente para verificar visualmente la resistencia estructural de los equipos y tuberías sometidos a la misma.



Independientemente de las pruebas parciales a que hayan sido sometidas las partes de la instalación a lo largo del montaje, deben efectuarse una prueba final de estanqueidad de todos los equipos y conducciones a una presión en frío equivalente a vez y media la de trabajo en los circuitos de calefacción y de dos veces en los circuitos de agua caliente sanitaria, con un mínimo de 6 bar, de acuerdo a la norma UNE 100.151. y de la IT 2.2.2.4.

Posteriormente se realizarán pruebas de circulación de agua, poniendo las bombas en marcha, comprobando la limpieza de los filtros y midiendo presiones y, finalmente, se realizará la comprobación de la estanqueidad del circuito con el fluido a temperatura de régimen.

Por último, se comprobará el tarado de todos los elementos de seguridad.

6.2.4 Reparación de fugas

Las fugas detectadas se repararán y una vez reparadas las anomalías se volverán a realizar todo el proceso de verificación y pruebas desde la prueba preliminar.

6.3 Pruebas de libre dilatación

Una vez que las pruebas anteriores hayan sido satisfactorias y se hayan comprobando hidrostáticamente los elementos de seguridad, las instalaciones equipadas con calderas se llevarán hasta la temperatura de tarado de los elementos de seguridad, habiendo anulado previamente la actuación de los aparatos de regulación automática.



Durante el enfriamiento de la instalación y al finalizar el mismo, se comprobará visualmente que no han tenido lugar deformaciones apreciables en ningún elemento o tramo de tubería y que el sistema de expansión ha funcionado correctamente.

6.4 Pruebas en redes de conductos

Los conductos de chapa de redes de conductos de aire se probarán de acuerdo a la Norma UNE 100.104 y a la IT 2.2.5.

Las pruebas requieren el taponamiento de los extremos de la red, antes de que estén instaladas las unidades terminales. Los elementos de taponamiento deben instalarse en el curso del montaje, de tal manera que sirvan, al mismo tiempo, para evitar la entrada en la red de materiales extraños.

6.5 Estanqueidad de chimeneas

Estas pruebas se realizarán de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

6.6 Pruebas finales

Por último se comprobará que la instalación cumple con las exigencias de calidad, confortabilidad, seguridad y ahorro de energía de estas instrucciones técnicas. Particularmente se comprobará el buen funcionamiento de la regulación automática del sistema.



Tal y como se ha descrito en el apartado 'Planificación' correspondiente a la Memoria descriptiva (D1 8), una vez realizado el montaje de los equipos en la planta se procederá en primer lugar a la puesta en marcha de los mismos, posteriormente se realizará una sincronización de los equipos al proceso productivo, que habrá de realizarse durante diez jornadas para pasar a una fase de puesta a punto de los equipos, y por último, se emplearán dos días de tests para comprobar el correcto funcionamiento del proceso.

Como se ha descrito, varias de las características a reseñar en este proceso de prueba tienen que ver con el ajuste de los equipos al proceso, teniendo especial relevancia dos factores.

6.6.1 Ajuste y equilibrado

La empresa instaladora realizará y documentará el procedimiento de ajuste y equilibrado de los sistemas de distribución de agua de acuerdo con lo siguiente: De cada circuito hidráulico se deben conocer el caudal nominal, la presión, así como los caudales nominales en ramales y unidades terminales.

Se comprobará en aquellos circuitos expuestos a heladas cuente con el fluido anticongelante especificado y adecuado.

Cada bomba se ajustará al caudal de diseño.

Las unidades terminales o los dispositivos de equilibrado de los ramales se ajustarán al caudal de diseño y se comprobará el correcto equilibrado hidráulico de los diferentes ramales.

De cada intercambiador de calor si existiere se conocerá su potencia, temperatura y caudales de diseño.



6.6.2 Control automático

Se ajustarán los parámetros del sistema de control automático a los valores de diseño especificados y se comprobará el funcionamiento de los componentes que configuran el sistema de control.

6.7 Eficiencia energética

La empresa instaladora realizará y documentará las siguientes pruebas de eficiencia energética de la instalación:

- Comprobación del funcionamiento de la instalación en las condiciones de régimen
- Comprobación de la eficiencia energética de los equipos de generación de calor y frío en las condiciones de trabajo
- Comprobación de los intercambiadores de calor y demás equipos en los que se realice una transferencia térmica
- Comprobación de los elementos de regulación y control
- Comprobación de las temperaturas y de los saltos térmicos de todos los circuitos de generación , distribución de unidades terminales en las condiciones de régimen
- Comprobación que los consumos energéticos se hallan dentro de los márgenes previstos en el proyecto
- Comprobación del funcionamiento y del consumo de los motores eléctricos en las condiciones reales de trabajo.
- Comprobación de las pérdidas térmicas de distribución de la instalación hidráulica.



6.8 Certificado de la instalación y recepción provisional

Una vez realizadas las pruebas finales con resultados satisfactorios, el instalador autorizado y la Dirección Facultativa de las obras suscribirán el certificado de la instalación según modelo establecido por el órgano competente de la Junta de Castilla y León, y se procederá al acto de recepción provisional de la instalación.

A continuación la empresa instaladora presentará el certificado de la instalación junto con el proyecto de la instalación realmente ejecutada y el certificado de inspección inicial con calificación aceptable en el órgano competente de la Junta de Castilla y León para su registro.

Una vez comprobada la documentación aportada, el certificado de la instalación será registrado por la D.G. de Industria y Minas de la Junta de Castilla y León, pudiendo a partir de ese momento realizar la puesta en servicio de la instalación.

Una vez registrada la instalación el instalador deberá entregar a la Dirección facultativa la documentación mencionada en el artículo 20 y en el artículo 24 en el momento de la recepción provisional, para que este a su vez haga entrega de la misma al titular de la instalación una vez registrada la instalación en el órgano competente.

Transcurrido el plazo de garantía, que será de dos años si en el contrato no se estipula otro de mayor duración, la recepción provisional se transformará en definitiva, salvo que por parte del titular haya sido cursada alguna reclamación antes de finalizar el periodo de garantía.

6.9 Documentación a tramitar

La documentación a tramitar en las distintas fases del proyecto es la siguiente:



6.9.1 Información a aportar por el productor

- Número, tipo y potencia de los generadores.
- Clase y cantidad de potencia y energía a entregar y/o demandar.
- Plano de emplazamiento.
- Copia de la concesión de auto-productor o, en su defecto, copia de la solicitud ante la Administración.

6.9.2 Información a aportar por Iberdrola

- Condiciones técnicas
- Punto de interconexión a la red
- Tensión nominal de la red
- Potencia máxima y mínima de cortocircuito en la interconexión
- Presupuesto en el que se indiquen los costes asociados a modificaciones en la línea de suministro y modificaciones necesarias en la red
- Presupuesto para la verificación de los sistemas de medida, protección y teledisparo cuando proceda

6.9.3 Información a entregar con el proyecto

Con el fin de obtener la aceptación del Proyecto, por parte de IBERDROLA, el productor deberá facilitar la siguiente documentación:

- Proyecto eléctrico visado (dos copias).



- Tres copias del esquema unifilar definitivo, donde se indique la configuración de la instalación, características de los T/i y T/t (relaciones de transformación, potencias y clase de precisión), transformadores de potencia y generadores, modelos de los equipos de protección, indicando sobre qué interruptor actúan, y sincronización.
- Planos desarrollados (trifilares) de las instalaciones que comprendan al menos desde el punto de interconexión hasta los transformadores de potencia.
- Esquemas de control de cierre y apertura del interruptor de interconexión, incluyendo la actuación de las protecciones sobre dicho interruptor y sus correspondientes conexiones.
- Manual de instrucciones de los relés de protección.
- Esquema de alimentación de los relés de protección.
- Protocolo de ensayos de los transformadores de tensión e intensidad (para medida y protección) firmados y sellados por el suministrador. Algunas Administraciones Territoriales establecen la obligatoriedad de pasar estos transformadores por el Laboratorio Oficial designado a tal efecto. Es responsabilidad del auto-productor conocer las zonas en las que esta comprobación sea requerida, así como su oportuna cumplimentación.
- Proyecto del autodisparo, dado el caso.
- Información técnica de los relés de protección de línea.
- Características de los contadores y convertidores.
- Características del registrador para la discriminación tarifaria.



- Esquema de conexionado del conjunto de medida, transformadores, contadores, convertidores, bloques de pruebas, etc.
- Descripción del armario del alojamiento de los equipos de medida.
- Planos desarrollados de las instalaciones que pasen a propiedad de IBERDROLA.
- Características del discriminador horario.

Una vez estudiada la documentación, IBERDROLA, enviará las observaciones oportunas al Proyecto, así como el presupuesto de actividades a realizar por IBERDROLA para la puesta en servicio de los sistemas de protección, medida, teledisparo, telecontrol y a los ajustes de los relés de protección requeridos en el punto de interconexión con la red.

El productor, al finalizar la verificación de los ajustes de los relés de protección, remitirá a IBERDROLA el Protocolo de verificación con los ajustes definitivos.



7. Medición y abono

Los criterios que se han convenido para hacer la medición de los costes de las partidas en el presupuesto (año 0), así como los costes aproximados de este proyecto están especificados en el documento presupuestos (Documento 4).

Además, en el apartado 'Análisis económico' relativo al anexo de 'Cálculos' (Documento 1, Anexo I, Apartado 7), se reflejan los costes estimados de operación y mantenimiento de las instalaciones, así como los costes del combustible utilizado (año 1)

De forma resumida, el coste del proyecto estimado es:

Tabla 3.1 Resumen presupuesto

Adquisición terrenos	328.625,00 €
Obra civil	515.970,00 €
Equipos	975.000,00 €
Presupuesto de ejecución material	1.819.595,00 €
Gastos generales (15%)	272.939,25 €
Total parcial	2.092.534,25 €
IVA (21 %)	439.432,19 €
Presupuesto de ejecución por contrata	2.531.966,44 €



Los costes de operación y mantenimiento estimados para el primer año de funcionamiento son los indicados en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 Costes operación y mantenimiento

Costes operación y mantenimiento	201.662,31 €
Mantenimiento motogenerador	10.734,90 €
Mantenimiento preventivo	3.000 €
Mantenimiento correctivo	25.319,66 €
Seguros	12.972,55 €
Sueldos brutos	149.436 €

Tabla 3.3. Coste de la biomasa

Coste de la biomasa	411.708 €
----------------------------	------------------



8. Condiciones que debe cumplir el ejecutor de la obra

8.1 Conocimiento previo del proceso y las tecnologías empleadas

Los licitantes no podrán alegar en momento alguno desconocimiento de las instalaciones, máxime si resultaran adjudicatarias, frente a revisiones de precio al alza de sus ofertas.

8.2 Seguros

Las empresas licitantes deberán disponer de una póliza de seguros de responsabilidad civil, daños corporales y materiales provocados a terceros, ya sean ocasionados por accidentes o negligencias con un período de vigencia coincidente con la duración del contrato.

8.3 Prevención de riesgos laborales

8.3.1 Seguridad e higiene

El licitador deberá tener en cuenta que el adjudicatario será el único responsable de la Seguridad e Higiene del área del edificio donde se llevan a cabo sus trabajos, sean éstos de mantenimiento o de nuevas instalaciones, debiendo proveer a su costo los medios auxiliares de protección individual y general respecto a sus empleados, el personal ajeno a las obras y los elementos y equipos del edificio. Las responsabilidades por cualquier accidente o



desgracia que pudiera acontecer serán por cuenta absoluta del adjudicatario.

Todo el personal empleado por el adjudicatario en los trabajos dentro del edificio, estará obligatoriamente dado de alta en la Seguridad Social.

8.3.2 Plan de Seguridad y Salud

Se llevará a cabo según el anexo 'Seguridad y Salud' (Documento 5). En el caso de no estar detallados los planes de seguridad y salud en dicho anexo, como es el caso de la obra civil, se llevará a cabo siguiendo la legislación correspondiente a los trabajos del gremio del que se trate.

8.3.3 Planes de autoprotección y emergencia

El Adjudicatario tiene la obligación de elaborar y poner en funcionamiento y mantener actualizado el Plan de Autoprotección y Emergencia según establezca la legislación vigente en dicha materia.

Asimismo impartirá entre sus empleados la formación necesaria y realizará los simulacros de evacuación que legalmente se establezcan o le sean indicados por la dirección de la planta. Además participará de forma efectiva en los simulacros de evacuación que se puedan establecer para todo el recinto.

DOCUMENTO 4: PRESUPUESTO



Índice

Índice de tablas.....	IV-3
1. Cuadro de mediciones.....	IV-4
2. Cuadro de precios	IV-5
3. Presupuesto ejecución material.....	IV-6
4. Resumen	IV-7



Índice de tablas

Tabla 4.1. Cuadro de mediciones	IV-4
Tabla 4.2. Cuadro de precios.....	IV-5
Tabla 4.3. Presupuesto ejecución material	IV-6
Tabla 4.4. Cuadro resumen	IV-7



1. Cuadro de mediciones

Tabla 4.1. Cuadro de mediciones

Ref.	Uds.	Descripción	Cantidad
1	U m ² ds.	Adquisición terrenos	5.975
2	Obra civil		
2.1	m ²	Acondicionamiento terreno	5.975
2.2	m ²	Nave industrial almacenamiento	846
2.3	m ²	Nave industrial con puente grua	840
3	Equipos		
3.1	Uds.	Astilladora biomasa	1
3.2	Uds.	Secador trommel	1
3.3	Uds.	Gasificador	1
3.4	Uds.	Sistema acondicionamiento del gas	1
3.5	Uds.	Módulo cogeneración	1
3.6	Uds.	Transformador	1
3.7	m	Cinta transportadora	20



2. Cuadro de precios

Tabla 4.2. Cuadro de precios

Ref.	Uds.	Descripción	Cantidad	Importe unitario (€)
1.1	m ²	Adquisición terrenos	5.975	55
2		Obra civil		
2.1	m ²	Acondicionamiento terreno	5.975	6
2.2	m ²	Nave industrial almacenamiento	846	220
2.3	m ²	Nave industrial con puente grúa	840	350
		Equipos		
3.1	Uds.	Astilladora biomasa	1	18.000
3.2	Uds.	Secador trommel	1	150.000
3.3	Uds.	Gasificador	1	330.000
3.4	Uds.	Sistema acondicionamiento del gas	1	90.000
3.5	Uds.	Módulo cogeneración	1	350.000
3.6	Uds.	Transformador	1	32.000
3.7	m	Cinta transportadora	20	250



3. Presupuesto ejecución material

Tabla 4.3. Presupuesto ejecución material

Ref.	Uds.	Descripción	Cantidad	Importe unitario (€)	Presupuesto (€)
1.1	m ²	Adquisición terrenos	5.975	55	328.625,00
2	Obra civil				
2.1	m ²	Acondicionamiento terreno	5.975	6	35.850,00
2.2	m ²	Nave industrial almacenamiento	846	220	186.120,00
2.3	m ²	Nave industrial con puente grúa	840	350	294.000,00
3	Equipos				
3.1	Uds.	Astilladora biomasa	1	18.000	18.000,00
3.2	Uds.	Secador trommel	1	150.000	150.000
3.3	Uds.	Gasificador	1	330.000	330.000
3.4	Uds.	Sistema acondicionamiento del gas	1	90.000	90.000
3.5	Uds.	Módulo cogeneración	1	350.000	350.000
3.6	Uds.	Transformador	1	32.000	32.000
3.7	m	Cinta transportadora	20	250	5.000,00
Presupuesto ejecución material					1.819.595,00



4. Resumen

Tabla 4.4. Cuadro resumen

Ref.	Descripción	Presupuesto (€)
1	Adquisición terrenos	328.625,00
2	Obra civil	515.970,00
3	Equipos	975.000,00
Presupuesto de ejecución material		1.819.595,00
Gastos generales (15%)		272.939,25
Total parcial		2.092.534,25
IVA (21 %)		439.432,19
Presupuesto de ejecución por contrata		2.531.966,44

DOCUMENTO 5 : SEGURIDAD Y SALUD



Índice

1.	Datos informativos del proceso.....	V-4
1.1	Emplazamiento	V-4
1.2	Número de trabajadores	V-4
1.3	Climatología.....	V-4
1.4	Actuación en caso de accidente	V-4
2.	Condiciones de seguridad y salud	V-5
2.1	Superficie y cubicación	V-7
2.2	Suelos techos y paredes.....	V-7
2.3	Iluminación.....	V-7
2.4	Ruidos, vibraciones y trepidaciones	V-8
2.5	Botiquín.....	V-8
3.	Ventilación	V-9
3.1	Aseos.....	V-9
3.2	Zona industrial	V-9
4.	Aplicación de la seguridad en las máquinas y herramientas	V-10
4.1	Astilladora.....	V-10
4.2	Secador	V-11
4.3	Gasificador.....	V-12
4.4	Grupo motogenerador.....	V-13



4.5	Transformador	V-14
4.6	Herramientas manuales.....	V-15



1. Datos informativos del proceso

1.1 Emplazamiento

La obra de la Central de biomasa se encuentra en el polígono industrial Las Vegas del término municipal de Vilviestre del Pinar (Burgos).

1.2 Número de trabajadores

Se han estimado unas necesidades de seis trabajadores en la planta, de los cuales además sólo estarían trabajando cuatro de ellos simultáneamente.

1.3 Climatología

El clima de Vilviestre del Pinar es continental, con inviernos fríos y prolongados, en los meses de Diciembre a Febrero, raramente las temperaturas mínimas sobrepasan los 0°. El verano es corto y suave gracias a las masas montañosas periféricas (Campiña o Carmona), con temperaturas que muy raramente sobrepasan los 30°C. Registra unos 800 mm al año de precipitación y un número medio de unas 24 tormentas por año.

1.4 Actuación en caso de accidente

Centro asistencial más cercano

Centro de urgencias de Quintanar de la Sierra.



Servicios de emergencia

Se colocará de forma bien visible la dirección del centro asistencial de urgencia y teléfonos del mismo, así como los de aquellos servicios de urgencia que se consideren de importancia (ambulancia, bomberos, policía, taxis).

1.5 Circulación de personas ajenas a la planta

Queda terminantemente prohibido el acceso al interior de la planta de personas ajenas a la misma.

2. Condiciones de seguridad y salud

Estas instalaciones se dispondrán de tal modo que cumplan las medidas mínimas de Seguridad e Higiene en el trabajo.

Según el REAL DECRETO 337/2010, de 19 de marzo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención; el Real Decreto 1109/2007, de 24 de agosto, por el que se desarrolla la Ley 32/2006, de 18 de octubre, reguladora de la subcontratación en el sector de la construcción y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. BOE nº 71 23/03/2010.

- Seguridad en el diseño y características constructivas del lugar de trabajo, así como que el diseño y las características faciliten el control de situaciones de emergencia, así como la rápida y segura evacuación de los trabajadores.
- Los lugares de trabajo cumplirán los requisitos mínimo establecidos en el Anexo I del RD 486/1997.



- El orden, la limpieza y mantenimiento de los lugares de trabajo deberá ajustarse a lo dispuesto en el Anexo II del RD 486/1997, así como a la señalización mínima obligatoria según el RD 485/1997.
- Las instalaciones de servicio y protección de los lugares de trabajo deberán cumplir las disposiciones mínimas establecidas en el RD 486/1997 y las reglamentaciones específicas.
- La exposición a las condiciones ambientales de los lugares de trabajo no deberá suponer un riesgo para la seguridad y salud de los trabajadores; a tal fin, dichas condiciones ambientales, y en particular, las condiciones termohigrométricas de los lugares de trabajo deberán ajustarse a lo establecido en el Anexo III del RD 486/1997. La exposición a los agentes físicos, químicos y biológicos del ambiente de trabajo se regirá por lo dispuesto en su normativa específica.
- La iluminación de los lugares de trabajo deberá permitir a los trabajadores que dispongan de condiciones de visibilidad adecuada para poder circular por los mismos y desarrollar en ellos sus actividades sin riesgo para su seguridad y salud. La iluminación deberá cumplir lo indicado en el Anexo IV del RD 486/1997.
- Los lugares de trabajo deberán cumplir las disposiciones del Anexo V del RD 486/1997 en cuanto a servicios higiénicos y locales de descanso.
- Los lugares de trabajo dispondrán del material y locales, en caso necesario, para la prestación de primeros auxilios a los trabajadores accidentados ajustándose a lo establecido en el Anexo VI del RD 489/1997.
- Los trabajadores recibirán una adecuada formación sobre medios de prevención y protección en seguridad e higiene.



2.1 Superficie y cubicación

- Dos metros cuadrados de superficie por cada trabajador.
- Diez metros cúbicos por cada trabajador.

Estas condiciones se cumplen ampliamente.

2.2 Suelos techos y paredes

- El pavimento constituirá un conjunto homogéneo, llano y liso sin soluciones de continuidad, de material consistente, no resbaladizo y de fácil limpieza.
- El suelo que existe en el recinto se considera apropiado para la actividad a desarrollar en él.
- Las paredes serán lisas guarnecidas o pintadas en tonos claros susceptibles de ser lavadas o blanqueadas.
- Los techos deberán reunir las condiciones suficientes para resguardar a los trabajadores de las inclemencias del tiempo.

Estas condiciones se cumplen ampliamente

2.3 Iluminación

- La zona de trabajo se dotará de alumbrado artificial adecuado y que se describirá en el apartado correspondiente.
- Asimismo dispondrá de alumbrado de emergencia, capaz de mantener, al menos durante una hora, una intensidad de cinco lux, y su fuente de energía será independiente del sistema normal de iluminación.



2.4 Ruidos, vibraciones y trepidaciones

- El anclaje de máquinas y aparatos que produzcan ruidos, vibraciones o trepidaciones, se realizará con las técnicas más eficaces a fin de lograr su óptimo equilibrio estático y dinámico.
- Los motores estarán ubicados en contenedores compactos insonorizados de acuerdo con las especificaciones del fabricante del conjunto.

En este caso, también se cumplen estas condiciones.

2.5 Botiquín

Se dispondrá de un botiquín completamente equipado, bien señalizado y convenientemente situado. El equipamiento recomendado se detalla a continuación:

- Agua oxigenada
- Alcohol
- Algodón
- Esparadrapo
- Gasas
- Tiritas
- Analgésicos (AAS, Paracetamol,...)
- Mercromina, yodo, cristalmina,...
- Pomadas (quemaduras, golpes, picaduras, etc)
- Material quirúrgico (pinzas, jeringuillas, gomas, tijeras,...)



- Bicarbonato
- Antiácidos
- Pastillas sublingüales
- Cicatrizante
- Colirios

3. Ventilación

3.1 Aseos

La ventilación en aseos se realiza con un sistema de extracción instalado para tal fin que recoge el aire por medio de rejillas y, mediante un extractor eléctrico, lo trasvasa hacia el exterior.

La ventilación se realizará mediante el aporte y renovación de aire exterior con los equipos de climatización diseñados.

3.2 Zona industrial

La ventilación en el volumen global de la nave se realiza de forma natural, ventilación estática, a través de puertas, ventanas y sistema de aireación por efecto *venturi* dispuestos en cubierta. El sistema de aireación se basará en el aprovechamiento del circuito que se produce por la entrada de aire fresco en cotas inferiores y salida al exterior del aire caliente por las cotas superiores.



4. Aplicación de la seguridad en las máquinas y herramientas

4.1 Astilladora

Riesgos más frecuentes

Peligro de atrapamiento por las cuchillas.

Peligro de golpes debido a las astillas que puedan ser despedidas.

Medidas preventivas

Se señalizará la zona de posible atrapamiento del trabajador.

Se establecerá una zona de seguridad para evitar el posible impacto de las astillas despedidas.

Protecciones colectivas

La astilladora se mantendrá en condiciones óptimas.

La zona estará debidamente acondicionada y limpia.

Se revisará periódicamente el material a triturar para evitar la presencia de piedras y otros materiales.

Protecciones personales

Casco homologado de seguridad, guantes reforzados y equipamiento adecuado.

Gafas homologadas de protección contra proyección de partículas al realizar operaciones muy cerca de la trituradora.



4.2 Secador

Riesgos más frecuentes

Quemaduras con los gases de escape y elementos a alta temperatura.

Caídas al realizar tareas de mantenimiento.

Inhalación de gases de salida con partículas.

Medidas preventivas

Se señalizarán aquellos elementos a alta temperatura que no deban tocarse.

Se delimitará la zona de trabajo del secador y aquellas zonas por las que no se deberá transitar.

El personal que trabaje en el secador recibirá una formación adicional para poder operar con el mismo.

Protecciones colectivas

La zona estará debidamente acondicionada y limpia.

Los propios elementos de control del secador que nos indicarán anomalías en el funcionamiento del mismo.

Protecciones personales

Casco homologado de seguridad y vestimenta adecuada.

Guantes resistentes a altas temperaturas cuando se vaya a trabajar cerca de elementos susceptibles de encontrarse a alta temperatura.



4.3 Gasificador

Riesgos más frecuentes

Caídas desde altura al realizar determinadas operaciones como mantenimiento o comprobaciones de que no hay atascos de combustible.

Contacto con sustancias tóxicas y agua contaminada.

Quemaduras.

Inhalación de gases.

Explosiones por escapes de gas.

Medidas preventivas

Señalización de las zonas peligrosas así como de la zona necesaria para la operación del gasificador.

Limpieza y orden de la zona.

Mantenimiento en perfecto estado de las tuberías, válvulas y equipos de acondicionamiento del gas.

Serán revisados periódicamente la estructura del gasificador y su estado. Para prevenir de incendios, será limpiada el área de trabajo y retirado el serrín y las astillas que se caigan.

Eliminación de las cenizas de forma automática para evitar que el operario trabaje en zonas peligrosas.

Protecciones colectivas

Colocación de barandillas en las zonas elevadas.

Correcta implantación de las escaleras.

Paneles informativos acerca del equipo y sus riesgos.



Elementos de control del gasificador.

Protecciones personales

Casco homologado de seguridad y vestimenta adecuada.

Instrucción de los operarios en el manejo del gasificador.

4.4 Grupo motogenerador

Riesgos más frecuentes

Contaminación acústica.

Transmisión de vibraciones.

Descargas eléctricas.

Medidas preventivas

Instalación del grupo en un módulo insonorizado de forma que la presión acústica en el exterior sea aceptable.

Revisiones periódicas.

Verificación de los elementos eléctricos.

Utilización de sistemas de control que permitan identificar anomalías en el funcionamiento del motor.



Protecciones personales

Casco homologado de seguridad y vestimenta adecuada.

Equipos de protección de los oídos.

4.5 Transformador

Riesgos más frecuentes

Descargas eléctricas.

Medidas preventivas

Revisiones periódicas.

Verificación de los elementos eléctricos.

Protecciones personales

Vestimenta adecuada



4.6 Herramientas manuales

Quedan incluidas en este grupo: taladro, percutor, martillo rotativo, pistola clavadora, lijadora, disco radial.

Riesgos más frecuentes

Descargas eléctricas.

Proyección de partículas.

Caídas de herramientas.

Ambiente ruidoso y con polvo.

Explosiones e incendios.

Cortes y golpes.

Medidas preventivas

Todas las herramientas eléctricas estarán dotadas de doble aislamiento de seguridad.

Antes de poner en funcionamiento es necesario conocer las condiciones de manejo, arranque y parada.

Serán revisadas con frecuencia para cumplir las condiciones de seguridad del fabricante y mantenerlas en correcto estado de funcionamiento.

Su almacenamiento tendrá un recinto perfectamente definido, de forma que se puedan colocar en estanterías con total seguridad, colocando las más pesadas en las zonas más bajas.



La desconexión de los circuitos eléctricos se realizará de forma cuidadosa y ordenada, ayudándose con las dos manos.

No se utilizará una de estas herramientas eléctricas, sin enchufe con las correspondientes clavijas.

Cuando sea necesario utilizar prolongadores, estos se conectarán de forma que las clavijas de la máquina encajen en la hembra del prolongador, no al revés.

Para trabajar con estas herramientas es necesario colocarse en posición firme y estable.

Protecciones colectivas

Las áreas de trabajo deben permanecer limpias y ordenadas.

Tanto las herramientas como las mangueras de alimentación deben mantenerse en buen estado de conservación.

Los huecos y trampas estarán protegidos por barandillas o antepechos.

Protecciones personales

Casco de seguridad, ropa, guantes y calzado homologados y reforzados.

Protecciones auditivas y oculares.

Cinturón de seguridad cuando se realicen trabajos en altura.

DOCUMENTO 6 : IMPACTO AMBIENTAL



Índice

1. Clasificación de la actividad en la legislación	VI-3
2. Agua y vertidos líquidos.....	VI-4
2.1 Abastecimiento	VI-4
2.2 Saneamiento.....	VI-4
2.3 Potenciales vertidos.....	VI-5
3. Ruidos.....	VI-6
4. Emisiones a la atmósfera.....	VI-7
5. Residuos.....	VI-9
6. Efectos sobre el medio	VI-10



1. Clasificación de la actividad en la legislación

La actividad que se desea realizar en la nave a construir, no deriva agresiones al medio natural por emisión de perturbaciones eléctricas, ruido, vibraciones, deslumbramientos, emisión de gases nocivos, humos o partículas.

La investigación para encuadrar la actividad en la Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León nos lleva a observar los siguientes ítems:

- Anexo III. Proyectos de obras, instalaciones o actividades sometidos a evaluación de impacto ambiental a los que se refiere el artículo 46.1:
 - a) Centrales térmicas, plantas de cogeneración y otras instalaciones de combustión con potencia instalada total igual o superior a 50 MW térmicos.
- Anexo IV. Proyectos de obras, instalaciones o actividades sometidos a evaluación de impacto ambiental a los que se refiere el artículo 46.2:

3. Industria

3.1. Energía

- a) Centrales térmicas, plantas de cogeneración y otras instalaciones de combustión con potencia instalada total entre 15 y 50 MW térmicos.
- Anexo V. Actividades e instalaciones sometidas a comunicación:
 - qq) Sistemas de generación de energía eléctrica y térmica mediante unidades de microcogeneración, con una potencia máxima inferior a 150 kWe, para uso doméstico o de una comunidad de vecinos, así como de edificios públicos, administrativos y de servicios.



Se observa que la planta no se encuadra en ninguno de ellos, por tanto no estará sometida al trámite de autorización ambiental recogido en la Ley 11/2003, de 8 de abril, de Prevención Ambiental de Castilla y León, por no figurar en ninguno de los epígrafes de los Anexos de la mencionada Ley ni estar recogida en el Anejo 1 de Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

2. Agua y vertidos líquidos

2.1 Abastecimiento

Se conectará la red a la acometida de agua municipal disponible en el polígono. Los usos del agua en la planta son muy reducidos y se circunscriben únicamente a:

- El proceso productivo no es consumidor de agua. Sólo se utiliza agua en los circuitos de transporte de energía calorífica, principalmente de refrigeración, que trabajan en circuito cerrado contra intercambiadores agua-aire.
- El agua para los aseos.

2.2 Saneamiento

En el consumo de agua que se realiza es mínimo y habrá que distinguir las distintas actividades que se realizan dentro de la edificación, no siendo necesaria la aplicación de medidas correctoras, salvo las impuestas por las Ordenanzas Municipales.

- Procedente de aseos, vestuarios y sala de descanso: se considerarán vertidos líquidos procedentes de la limpieza y aguas fecales, no



siendo necesarias medidas correctoras en este caso. Se evacuarán a la red de saneamiento existente en el polígono.

- Baldeo y limpieza de almacenamiento industrial: se consideran vertidos líquidos que no suponen la aplicación de medidas correctoras, estableciéndose la solución de arquetas separadoras de grasas antes de la evacuación a la red general.

2.3 Potenciales vertidos

Fase de Instalación y montaje

Las aguas superficiales y subterráneas, si no se tiene el debido esmero, se pueden ver afectadas por pequeños vertidos propios de las tareas de las obras y montaje de las instalaciones. Por la naturaleza de dichas tareas, estos vertidos serían mínimos. La persistencia sería temporal con reversibilidad al término de la ejecución de las instalaciones.

Fase de explotación

El proceso de producción en sí no genera vertidos líquidos que puedan impactar contra las aguas superficiales o subterráneas, pues todo líquido será tratado.



3. Ruidos

Durante la ejecución de la obra

Dichos efectos, dada la ubicación en un terreno alejado de toda población, serán de muy baja importancia, aun cuando la intensidad sea media. Naturalmente, la persistencia de estas acciones se considerará temporal y claramente reversible en cuanto desaparezcan las causas, es decir, cuando finalice el montaje.

Durante la fase de explotación

Los posibles focos potenciales de emisión de ruidos y vibraciones proceden de las tareas propias de la actividad. La mayor fuente de ruido procederá del grupo motogenerador instalados. Dichos grupos se instalan en contenedores insonorizados tal y como se ha descrito.

A través del cálculo de la emisión acústica global proveniente de los distintos focos puntuales de ruido existentes en la actividad, arrojan un valor del nivel de ruidos en el interior del local, en el caso más desfavorable, de 75 dBA a 10 metros, es decir, la incidencia será mínima.

El resto de equipos instalados no tienen repercusión sobre el nivel sonoro general de la instalación, al igual que el tráfico rodado de camiones y palas en el interior de la parcela.

Como recomendación general, la posible maquinaria a instalar, en ningún caso, se aproximará a muros, pilares ni medianerías, se montarán sobre apoyos elásticos para la eliminación del 70 % de las vibraciones y movimientos perjudiciales e irán situadas sobre bancadas de masa suficiente y asentadas sobre suelo firme.



4. Emisiones a la atmósfera

Durante la ejecución de la obra

Sobre la atmósfera se producirán emisiones durante la fase de ejecución de las obras, relacionados, más bien, con las tareas propias de los instaladores del equipamiento necesario para la actividad, que, dada la naturaleza de las mismas (obras, instalaciones, ...) serán tanto de baja intensidad como importancia. Todas ellas evitables con el obligado cuidado del personal montador de las instalaciones.

En esta fase se deben tomar una serie de medidas previamente planificadas, que a continuación se exponen:

- El polvo desprendido durante las excavaciones y los gases de combustión de los vehículos utilizados son los dos aspectos a tener en cuenta. Para controlar el primero será necesario la realización de la obra de una forma ordenada evitando en lo posible la realización de varios pozos o zanjas a la vez. Los trabajadores deberán llevar mascarillas antipolvo para no verse afectados por la inhalación del mismo. No obstante, a todo lo anterior, conviene destacar que el volumen de tierra sobre el que se incide es pequeño y por lo tanto el nivel de estas emisiones será escaso.
- Se evitará la circulación de vehículos y maquinaria pesada y descarga de los materiales fuera de los lugares previstos.
- Se realizarán todas las instalaciones y operaciones de obra dentro del mismo recinto que ocupará la planta, para de este modo evitar los efectos de final de obra y evitar costos innecesarios de adecuación paisajística del entorno.
- Se elaborará un Plan de Previsión de Desmantelamiento para aquellas instalaciones que se ubiquen fuera del recinto que acogerá la planta, incluyendo la eliminación de todos los restos de obras, así como la restauración morfológica.
- Se controlará periódicamente la maquinaria, sobre todo el sistema de silenciador de escapes y mecanismos de rodadura para minimizar



ruidos. Así como se revisarán las emisiones de los escapes de la maquinaria que se emplee y realizar las labores de mantenimiento y reparación de maquinaria en lugares adecuados, alejados de cursos de agua y procurando que los vertidos de aceites, grasas, pinturas y otro tipo de residuo se eliminen debidamente.

- No se realizarán incineraciones de materiales sobrantes de las obras y de cualquier otra emisión de gases que perjudiquen a la atmósfera.

Durante la fase de explotación

Además de los efectos comentados sobre la maquinaria en la fase de obra, se pueden producir las siguientes emisiones gaseosas:

- Gases de combustión de los motores de explosión. Estos gases, tras su aprovechamiento térmico, serán emitidos en las siguientes condiciones:

Contenido NOX: $<500 \text{ mg/Nm}^3$

Contenido CO: $<1500 \text{ mg/Nm}^3$

Contenido NMHC: $<300 \text{ mg/Nm}^3$

Se dispondrá de catalizador a la salida del colector de escape. A la salida de los gases se instalará una sonda lambda que, además de controlar la carburación de forma automática, detenga el proceso ante una anormal combustión. Asimismo, dicha salida contará con un tomamuestras para la extracción y análisis de los gases de combustión, de modo que se pueda verificar si los parámetros son los adecuados.

- Aire caliente procedente de los aerorrefrigeradores e intercambiadores de calor con fluido aire.



La formación de CO y otras sustancias no deseadas se confinará dentro de los límites de los depósitos contenedores y sistemas de transporte de fluidos, por lo que no se prevé ninguna incidencia en este sentido.

5. Residuos

Para los residuos generados, su almacenamiento y eliminación habrá que distinguir las distintas actividades que se realizan:

- Actividad administrativa: generación de residuos que no se diferenciarán de los generados en un domicilio particular, siendo estos restos de papeles, cajas vacías, etc. La retirada de este tipo de residuos, Residuos Sólidos Urbanos (RSU), correrá a cargo de la empresa municipal. Se emplearán depósitos independientes para la recogida selectiva de los residuos sólidos urbanos (papel y cartón, vidrio, envases, materia orgánica, etc.) para su reciclado.
- Actividad industrial: los residuos serán almacenados en contenedores cerrados que imposibiliten su vertido accidental. Dichos residuos serán recogidos por gestor autorizado con el nivel de calificación adecuado a la naturaleza de los mismos y con quién se habrá de establecer un contrato. Entre estos residuos se encuentran las cenizas, el aceite del motor y los filtros de aceite del motor.



6. Efectos sobre el medio

Tanto el relieve, como el subsuelo no se verán afectados en modo alguno por la implantación y explotación de esta actividad.

El suelo puede verse afectado en la fase de implantación, durante la ejecución de las obras, pero este efecto, aparte de reversible no es persistente. La combustión de los motores de explosión provoca la emisión de los gases que ya se han comentado, por tanto incidirá negativamente, aunque de forma leve, sobre la vegetación, tanto matorral bajo, como alto y árboles, si bien, sus emisiones serán muy leves debido a la absorción que de las mismas hace la biomasa en el proceso de secado de la planta aledaña.

De nuevo, por la naturaleza de los gases de emisión, estos efectos serán de baja intensidad. No se producirán en el mismo momento de la explotación, sino que sus efectos podrían verse reflejados en sucesivos meses. No obstante, y a pesar de ser persistentes mientras dure la actividad, serán reversibles. Como se verá, las medidas correctoras (principalmente el catalizador) son suficientes para dejar estos efectos a niveles despreciables.

De todos modos, la combustión de gases de biomasa siempre es, por diversos motivos, menos dañina con el medio ambiente que el uso de cualquier otra fuente de energía convencional y estos motores no se diferencian de los de camiones o barcos, incluso ofrecen la ventaja que el combustible gaseoso es mucho más limpio que el gasóleo.

Lo mismo que ocurre para la vegetación se puede extrapolar a la fauna, sólo que sus efectos podrían producirse antes que sobre la vegetación, pero siempre con una muy leve intensidad. Estos efectos podrían durar mientras continúe la actividad, siendo, por tanto, persistentes, pero reversibles.

Dada la naturaleza de los gases, se produce un efecto sobre el paisaje que es de importancia e intensidad muy bajas, toda vez que los



gases emitidos son transparentes, modificando únicamente la refracción del aire circundante por incremento de temperatura. Este impacto persistente y claramente reversible, de bajísima afección.

Resumiendo, los efectos sobre el medio son tan leves que sólo se mencionan a efectos informativos, pues se han diseñado todas las medidas de seguridad para que tengan esta clasificación.



Bibliografía

LIBROS Y ARTÍCULOS

(AGENBUR, AGENCIA PROVINCIAL DE LA ENERGÍA DE BURGOS)
Estudio específico de disponibilidad de biomasa en la provincia de Burgos.

(EREN, ENTE REGIONAL DE LA ENERGÍA DE CASTILLA Y LEÓN & JUNTA DE CASTILLA Y LEÓN, 2010) *Plan Regional de ámbito sectorial de la Bioenergía de Castilla y León. Capítulo 3.2. Biomasa forestal.*

GARCÍA GARRIDO, S. & FRAILE CHICO, D. (2008) *COGENERACIÓN. Diseño, Operación y Mantenimiento de las plantas.* Ediciones Díaz de Santos. ISBN: 978-84-7978-845-2

GIL, J. (2005), *El problema de los alquitranes en la gasificación de biomasa.* Centro Nacional de Energías Renovables (CENER).

GONZÁLEZ MOLINA, J.M.(2006) *Manual de gestión de los hábitats de pino silvestre en Castilla y León..* Consejería de Medio Ambiente. Junta de Castilla y León. ISBN: 84-9718-031-3



(IDAE, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA, 2011) *Plan de Energías Renovables en España 2011-2020. Capítulo 4.3.Sector de la Biomasa.*

(IDAE, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA, 2011) *Análisis del potencial de cogeneración de alta eficiencia en España 2010-2015-2020.*

(IDAE, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA, 2007) *Biomasa. Producción eléctrica y Cogeneración.* ISBN: 978-84-96680-22-7

(IDAE, INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE ENERGÍA, 2005) *Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Capítulo 3.6. Área de la Biomasa.*

LÓPEZ VICENS, I. & CODINA I PALOU, M. (2008), *Estudio de las características de la astilla forestal y buenas prácticas para su aplicación energética. Estudio E002.* Proyecto INTADER. Centre Tecnològic Forestal de Catalunya.

PÉREZ, M. (2009). *Biomass and waste gasification: feasible contributions in industrialised and rural areas.* European Biomass Conference & Exhibition. from research to industry and markets : proceedings of the international conference held in Hamburg, Germany.. Elsevier, p. 732-739.



McKENDRY, P. (2001) *Energy production from biomass (part 3): gasification technologies*. Elsevier.

PLUMMER, F. *Project Engineering. The Essential Toolbox for Young Engineers*. B&H Books, 2007, ISBN: 978-0-7506-8279-4.

SALA LIZARRAGA, J.M. (1994) *Cogeneración. Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos*. Servicio Editorial Universidad del País Vasco. ISBN: 978-84-7585-571-4

SANTOS, F. *Ingeniería de proyectos*. Ediciones Universidad de Navarra, 1999. ISBN: 84-313-1723-X



VÍNCULOS WEB

AENOR (acceso 20 mayo de 2012)

<<http://www.aenor.es/aenor/inicio/home/home.asp#.UMcgouT8JMR>>

BIBLIOTECA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA (acceso 9 diciembre de 2012)

<<http://www.buc.unican.es/sites/default/files/tutoriales/CITAR/PAG0.htm>>

GOGOLZOOM (acceso 20 de julio de 2012)

<<http://es.goolzoom.com/?dir=09690%20Vilviestre%20del%20Pinar%2C%20Burgos%2C%20Espa%F1a>>

(OMIE) OPERADOR DEL MERCADO IBÉRICO DE ENERGÍA, POLO ESPAÑOL. *Mercado diario de venta de energía*. (acceso 24 de octubre de 2012) <<http://www.omie.es/files/flash/ResultadosMercado.swf>>

(SODEBUR)SOCIEDAD PARA EL DESARROLLO DE LA PROVINCIA DE BURGOS (acceso 15 mayo de 2012) <<http://www.sodebur.es/es/burgos/>>



LEGISLACIÓN

COMISIÓN EUROPEA. *Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios. Energía para el futuro: fuentes de energía renovables.* COM(97) 599, noviembre 1997

ESPAÑA. *Real Decreto-ley 1/2012, de 27 de enero*, por el que se procede a la suspensión de los procedimientos de preasignación de retribución y a la supresión de los incentivos económicos para nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de cogeneración, fuentes de energía renovables y residuos. BOE-A-2012-1310

ESPAÑA. *RD 337/2010, de 19 de marzo*, por el que se modifican Reglamento de los Servicios de Prevención y se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en obras de construcción. BOE-A-2010-4765

ESPAÑA Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. BOE-A-2007-10556

ESPAÑA. *RD 2267/2004, de 3 de diciembre*, por el que se aprueba el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. BOE-A-2005-3663