

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



*Trabajo Fin de Grado*

**MICROTURBINA DE BIOGÁS EN  
E.D.A.R. PROYECTO EJECUTIVO Y  
ANÁLISIS DE VIABILIDAD**

---

**Biogas Microturbine in W.W.T.P Executive  
Project and Viability Analysis**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA MARÍTIMA**

Autor: Julio Lavandero Rincón

Director: Luis Miguel Muñiz González

Septiembre – 2018



En primer lugar, quería dar las gracias a todas aquellas personas que me han ayudado y han estado presentes en el desarrollo de este proyecto, así como a la empresa "*Micropower Europe*" por su aportación y colaboración.

A mi tutor, Luis Miguel Muñiz González, por el apoyo, la dedicación y la oportunidad prestada.

A mis compañeros de oficina Gonzalo, Isabel, Álvaro e Iker, por estar siempre ahí y ayudarme en todo momento, gracias por toda la ayuda recibida.

Por último, en especial, dar las gracias a mis padres y a Lucía. Sin su apoyo y ayuda incondicional durante estos años no hubiera sido posible.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA

*Trabajo Fin de Grado*

**MICROTURBINA DE BIOGÁS EN  
E.D.A.R. PROYECTO EJECUTIVO Y  
ANÁLISIS DE VIABILIDAD**

---

**Biogas Microturbine in W.W.T.P Executive  
Project and Viability Analysis**

Para acceder al Título de Grado en

**INGENIERÍA MARÍTIMA**

Autor: Julio Lavandero Rincón

Director: Luis Miguel Muñiz González

Septiembre – 2018





## ÍNDICE

Resumen .....	4
Palabras clave .....	4
Summary .....	5
Keywords .....	5
1 Memoria descriptiva.....	7
1.1. Objeto y alcance del proyecto.....	7
1.2. Estudio de la problemática.....	10
1.3. Estado del arte.....	15
1.3.1. E.D.A.R. Estación Depuradora de Aguas Residuales .....	15
1.3.2. Generación del biogás en digestores anaerobios .....	36
1.3.3. Tipos de digestores anaerobios .....	44
1.3.4. Alternativas para la valorización energética del biogás.....	48
1.3.5. Mejores técnicas disponibles: BREF'S .....	55
1.2.3 ¿Qué es una microturbina de gas? .....	57
1.2.4 Microturbina de gas: elementos constructivos .....	60
1.2.5 Bases de funcionamiento de las microturbinas .....	62
1.2.6 Generación eléctrica en modelo autoconsumo .....	65
2 Proyecto ejecutivo .....	70
2.1. Reglamentación y normativa aplicable .....	70
2.1.1. Especificación normativa ATEX .....	73
2.2. Promotor del estudio y titular de la planta.....	83
2.3. Instalación actual .....	83
2.4. Emplazamiento de la E.D.A.R .....	86
2.5. Estacionalidad del tratamiento de las aguas residuales .....	87
2.6. Información y consideraciones de partida.....	89



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



2.7.	Descripción de equipos.....	100
2.8.	Planteamiento de los casos de estudio .....	106
2.9.	Solución propuesta .....	111
2.9.1.	Obra civil .....	113
2.9.1.	Instalación de baja tensión.....	115
2.9.2.	Localización de la instalación.....	116
2.9.3.	Cálculos termodinámicos .....	118
2.10.	Diseño realizado de la planta .....	122
2.11.	Puesta en marcha y mantenimiento requerido .....	124
3	Estudio de viabilidad .....	128
3.1.	Análisis de la inversión .....	128
3.2.	Indicadores de productividad .....	134
3.3.	Determinación de la viabilidad de la instalación .....	136
4	Estudio de sensibilidad de precios.....	137
5	Futuras líneas de investigación .....	142
6	Planos.....	144
7	Pliego de condiciones.....	152
7.1	Condiciones generales .....	152
7.1.1	Descripción preliminar .....	152
7.1.2	Normativa general a cumplir .....	153
7.1.3	Referencia a documentos contractuales.....	154
7.2	Condiciones ejecución.....	155
7.3	Condiciones de los materiales a emplear.....	157
7.4	Descripción de las obras.....	158
7.4.1	Obra civil.....	159
7.4.2	Instalación eléctrica baja tensión .....	163



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



7.4.3	Implantación de equipos .....	168
7.5	Plazos de pago .....	170
7.6	Puesta en marcha del equipo .....	170
7.7	Impacto ambiental .....	171
7.8	Recomendaciones de seguridad .....	178
7.9	Plazo de garantía .....	179
7.10	Documentación final de la obra .....	179
8	Presupuesto.....	181
9	Estudio de seguridad y salud.....	197
9.1.	Introducción .....	197
9.1.1.	Objeto del proyecto .....	197
9.1.2.	Designación de los coordinadores de seguridad y salud ...	197
9.1.3.	Estructura del proyecto de seguridad y salud en las obras	198
9.2.	Principios generales aplicables al proyecto y a la obra .....	199
9.3.	Memoria descriptiva.....	200
9.3.1.	Descripción y situación.....	200
9.3.2.	Presupuesto, plazo de ejecución y mano de obra.....	201
9.3.3.	Unidades del proyecto.....	201
9.3.4.	Riesgos .....	205
9.4.	Disposiciones legales de aplicación .....	228
9.5.	Obligaciones de contratistas y subcontratistas .....	230
9.6.	Ubicación de servicios médicos .....	231
10	Bibliografía .....	233



## RESUMEN

En el proyecto expuesto a continuación, se realizará un estudio de viabilidad para la definición y justificación de implantación de un equipo de turbinado en una Estación Depuradora de Aguas Residuales. Se tendrá en cuenta el diseño propuesto y los cálculos pertinentes en referencia a la potencia nominal necesaria, dimensiones y ubicación de los equipos involucrados. Se realizará una valorización energética de los recursos propios de la planta, con el fin de aumentar el rendimiento de la misma.

Este trabajo fin de grado, estará orientado a la implantación del equipo de turbinado en la planta de una E.D.A.R ficticia ubicada en Llanes. El diseño y cálculo será elaborado en base a los datos de partida aportados por el cliente.

Se llevará a cabo una memoria descriptiva, en la que previamente se establecerán una serie de términos y conceptos sobre la generación de biogás, los equipos involucrados y las bases de funcionamiento, con el fin de obtener una mayor comprensión del proyecto. A su vez, se expondrá la normativa seguida y aplicada para el diseño y operación de estos equipos. Posteriormente, se realizará el planteamiento del problema y se adoptará la solución más adecuada para ajustarse a los servicios necesarios de la instalación.

En el desarrollo del trabajo, se tratan los diferentes elementos que forman parte del equipo de turbinado, determinando un dimensionamiento de la planta a instalar.

Con motivo del diseño 3D de la instalación y de la selección de los equipos auxiliares para su implantación, se ha tenido en cuenta los cálculos previos, el estudio de viabilidad, así como la ubicación y dimensiones especificadas.

## PALABRAS CLAVE

E.D.A.R, biogás, microturbina, cogeneración, energía para autoconsumo.



## SUMMARY

In this project described below, will be carried out a viability analysis to define and justify the implementation of a turbine equipment in a Wastewater Treatment Plant. The propose of the design and the relevant calculations will be considered in reference to the necessary nominal power, dimensions and location of the equipment involved. Energy valuation will be made of the plant's own resources, in order to increase the plant's performance. This final degree project will be aimed at the implementation of the turbine equipment in the fictitious plant of the E.D.A.R of Llanes. The design and calculation will be based on the data provided by the client. A descriptive report will be carried out, in which previously a series of terms and concepts will be established on the generation of biogas, the equipment involved and the bases of operation, in order to obtain a greater understanding of the project. At the same time, the regulations followed and applied to the design and operation of these equipment will be explained. Subsequently, the case study analysis will be carried out and the most appropriate solution will be adopted to adjust to the necessary services of the installation.

In the development of the work, the different elements that are part of the turbine equipment, determining a sizing of the plant to be installed, in which different parameters will be varied until reaching the optimum point of operation after the established premises.

Due to the 3D design of the installation and the selection of the auxiliary equipment for its implementation, the previous calculations, the feasibility study, as well as the location and specified dimensions have been considered.

## KEYWORDS

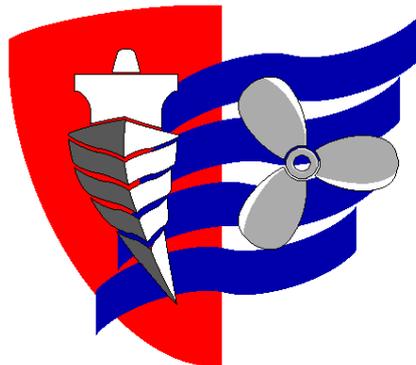
W.W.T.P, biogas, microturbine, cogeneration, energy self-consumption.



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**MEMORIA DESCRIPTIVA**



## 1 MEMORIA DESCRIPTIVA

### 1.1. OBJETO Y ALCANCE DEL PROYECTO

El modelo actual de generación, transporte y consumo de energía, es absolutamente dependiente del empleo de combustibles fósiles de una manera directa o indirecta. De este modo, se puede concretar que la inmensa mayoría de la energía consumida actualmente es de origen no renovable o de fuentes energéticas cuyos procesos emplean combustibles primarios.

Según las autoridades, se estima que el consumo de energía en el mundo se duplique debido al aumento demográfico y a la implantación de sistemas de generación de energía directamente ligados con el desarrollo tecnológico.

La evolución hacia una sociedad educada en preservar el planeta y prestada al uso de nuevas fuentes de energía, así como de nuevas tecnologías, hace que cada vez se opte más por medios paralelos de generación o producción de energía.

De esta forma, la generación de energía por medio de fuentes renovables de producción, como es el caso de los biocarburantes, y específicamente en nuestro caso mediante el biogás, atiende a una solución para paliar la generación de energía con combustibles fósiles. Es decir, podemos disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes a la generación básica o primaria de esa energía eléctrica o térmica que necesitamos para el proceso.

El objeto del presente estudio es analizar la viabilidad técnica y económica para la instalación de un equipo de turbinado en la EDAR ficticia de Llanes, con el fin de aprovechar energéticamente el biogás generado como subproducto de la digestión anaerobia de los lodos de tratamiento en la estación depuradora.



A su vez, será realizado el proyecto ejecutivo y el diseño de la instalación generadora, con lo que conseguiremos definir la nueva planta en su contexto técnico y en lo correspondiente a la viabilidad económica, aprovechamiento energético y valorización de los recursos propios de la planta.

Por otro lado, se realizará una comprobación de los indicadores de productividad, dónde se analizará el CO<sub>2</sub> equivalente al método de producción primario de la energía necesaria para el autoconsumo de la planta. Con ello se observarán las toneladas de CO<sub>2</sub> que se dejan de producir al año con la nueva planta generadora.

La instalación objeto de estudio, generará, a partir de la combustión del biogás, electricidad en modalidad de autoconsumo para uso de la planta, y a su vez, se utilizará posteriormente el calor residual de los gases de escape para el calentamiento del agua de atemperación de los lodos de los digestores, a la temperatura óptima del proceso de digestión.

Por tanto, esta instalación es considerada una planta de cogeneración alimentada con combustible de origen renovable, ya que es capaz de producir la energía eléctrica suficiente para el autoconsumo de la planta, y realizar el aprovechamiento térmico de los gases de escape para el proceso de digestión y obtención del biogás.

La instalación a estudio en este proyecto está abierta a la variación del número de módulos en función del estudio realizado, la planta básica consta de los siguientes componentes principales:

- Una unidad de tratamiento de biogás.
- Un turbocompresor
- Una microturbina de biogás



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



- Un alternador de acoplamiento directo al rotor de la máquina.
- Módulos de control, compuesto de electrónica de potencia para el gobierno de la máquina y control de la generación eléctrica.
- Sendas redes de interconexión eléctrica, hidráulica y de gas.
- Inserción de un sistema de control de potencia eléctrica dinámico, para limitar el volcado de energía eléctrica a la red.

En este sentido, se establecen los objetivos principales necesarios para la instalación propuesta:

- Producir energía eléctrica para el autoconsumo de la planta, mediante el aprovechamiento energético del biogás producido en el digestor.
- Reducir la potencia contratada actual.
- Aumentar el rendimiento y la eficiencia energética de la instalación.
- Valorizar eficientemente los recursos propios de la planta.
- Reducir el empleo de combustibles fósiles de origen primario y disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Monitorizar la instalación y cuantificar su eficiencia energética.
- Aprovechar la energía térmica residual de los gases de escape de la microturbina, para el calentamiento del agua de alimentación al digestor.



## 1.2. ESTUDIO DE LA PROBLEMÁTICA

El consumo de energía, en sus diferentes modalidades, ha experimentado un gran crecimiento en los últimos tiempos. Su producción y uso suponen la principal causa de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), gases, que son responsables directos del cambio climático.

### ESTRATEGIA EUROPEA 2030

El marco legislativo europeo, establece ciertas medidas resolutiveas y de aplicación para poder hacer frente de manera paulatina a estos hechos, con el fin de dirigirnos hacia un futuro que abogue por el uso de energías limpias, renovables y que tengan la mínima repercusión posible en el medio ambiente.

La Unión Europea estableció en 2007 un conjunto de objetivos, determinados para el año 2020, en el que se desarrollaban las principales restricciones de los imperativos en cuanto a seguridad y sostenibilidad dentro de la política energética europea. En estos objetivos se establecía una reducción del 20% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), en relación al año 1990, un impulso en el empleo de las energías renovables de un 20% de la demanda total energética y un objetivo para la mejora de la eficiencia energética del 20%. De este modo se establecieron los objetivos 20/20/20 para 2020 (Fig.1).



Figura 1: Estrategia 2020.

Fuente: Imagen modificada obtenida de "Google imágenes".



El 24 de octubre de 2014, los jefes de Estado y los jefes de gobierno de la Unión Europea aprobaron un nuevo compromiso con nuevos objetivos para el año 2030, en donde se pretende dar continuidad a la medida anterior y ahondar más en la misma línea de actuación. Los nuevos objetivos de la Estrategia 2030, se han concretado en una reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> de un 40%, con respecto a los niveles de 1990, un impulso en el empleo de las energías renovables de un 27% de la demanda total energética y un objetivo de mejora de la eficiencia energética del 27%.

Este conjunto de objetivos, 40/27/27 para 2030, establece una nueva estrategia energética envuelta dentro del denominado "Marco estratégico en materia de clima y energía para el periodo 2020-30". (Fig.2)



Figura 2: Estrategia 2020 Vs 2030.

Fuente: Imagen modificada obtenida de "Google imágenes".

## CICLO DEL CARBONO

Simplificando el estudio del ciclo del carbono, pueden determinarse dos ciclos más sencillos interconectados entre sí:

- Ciclo del carbono corto, el cual estudia el intercambio de carbono entre los organismos vivos.
- Ciclo de carbono a largo plazo, el cual estudia el ciclo del carbono a través de los procesos geológicos.



Centrándonos en las emisiones de CO<sub>2</sub>, como principal gas contaminante que fomenta el efecto invernadero, se determina que este gas lo podemos unificar dentro del ciclo corto del carbono.

El carbono existente en el aire atmosférico se presenta mayoritariamente como CO<sub>2</sub> en estado gaseoso. Este CO<sub>2</sub> puede disolverse en el agua reaccionando con las moléculas y produciendo HCO<sub>3</sub>. Por otro lado, puede ser empleado por las plantas y árboles, bacterias y algas en el proceso de la fotosíntesis, donde el átomo de carbono de CO<sub>2</sub> o el del HCO<sub>3</sub> es empleado en la formación de compuestos orgánicos para su crecimiento y desarrollo.

Las moléculas orgánicas producidas por los organismos fotosintetizadores, pasan a través de las cadenas alimenticias, hasta el punto en el que la materia en forma de compuestos de carbono se degrade de forma natural, liberando los átomos de carbono a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, cerrando el ciclo. (Fig.3).



Figura 3: Ciclo del carbono.

Fuente: Imagen modificada obtenida de “Google imágenes”.

Desde el inicio de la revolución industrial, la demanda mundial por las limitadas reservas de combustibles fósiles ha aumentado enormemente.



Estos combustibles fósiles no son considerados como recursos renovables, puesto que se consumen mucho más rápido de lo que los procesos geológicos pueden llegar a producir.

Cuando se queman combustibles fósiles, se libera una mayor cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera de la que se produciría a través de los procesos naturales propios, establecidos en el ciclo del carbono. Parte del CO<sub>2</sub>, originado por la actividad humana, es consumido por las plantas y absorbido por los océanos, sin embargo, estos procesos no contrarrestan el aumento de los niveles de CO<sub>2</sub> de una forma considerada como crítica.

### BIOGÁS, ENERGÍA RENOVABLE

Centrándonos en el presente proyecto, se considera el biogás generado como consecuencia de la digestión anaerobia de los lodos procedentes del tratamiento de las aguas residuales.

Este biogás tiene un alto contenido en metano (CH<sub>4</sub>), y el resto mayoritariamente es considerado como CO<sub>2</sub>. El metano, una vez es quemado, genera como producto de la combustión la formación de más CO<sub>2</sub>.

Sin embargo, el dióxido de carbono global de este proceso está encuadrado dentro del ciclo corto del carbono, ya que el CO<sub>2</sub> originado en la producción del biogás y luego en su combustión, es el mismo que se generaría de forma natural por la degradación biológica del residuo orgánico.

Por tanto, el biogás es considerado un combustible renovable, ya que no altera el ciclo natural del carbono y no fomenta un aporte extra de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.



## FONDOS ESTRUCTURALES Y DE INVERSIÓN EUROPEOS (EIE)

La Unión Europea estableció los denominados Fondos Estructurales y de Inversión Europeos (EIE), los cuales tienen como objetivo promover la competitividad y la convergencia de todos los territorios, siendo un instrumento esencial para hacer frente a los principales retos de desarrollo de España y en la aplicación de la Estrategia Europa 20/20/20 de 2020.

Los Fondos EIE están compuestos de cinco fondos:

- Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER)
- Fondo Social Europeo (FSE);
- Fondo de Cohesión;
- Fondo Europeo Agrícola y de Desarrollo Rural (FEADER);
- Fondo Europeo Marítimo y de Pesca (FEMP).

En el caso de estudio que nos compete, la Unión Europea establece unos fondos destinados al desarrollo regional. Donde la función del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) (Reglamento (UE) nº 1301/2013) es fortalecer la cohesión económica, social y territorial mediante la corrección de los principales desequilibrios regionales existentes (Fig.4). La financiación prioritaria va destinada a la investigación, las TIC, las pymes y la economía baja en carbono.

Este fondo FEDER ha de ser solicitado y se ha de justificar su uso. El tipo de instalaciones como las E.D.A.R, pueden solicitar este fondo con el fin de ubicar en las plantas una instalación para la valorización energética del biogás producido como subproducto del tratamiento y depuración de las aguas residuales.



### **Unión Europea**

Fondo Europeo  
de Desarrollo Regional  
“Una manera de hacer Europa”

*Figura 4: Fondo Europeo de Desarrollo Regional.*

*Fuente: Imagen modificada obtenida de “Google imágenes”.*



### 1.3. ESTADO DEL ARTE

#### 1.3.1. E.D.A.R. ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES

##### DEFINICIÓN Y OBJETIVOS

Una E.D.A.R, Estación Depuradora de Aguas Residuales, es una planta o instalación dedicada a recoger las aguas residuales de una población para ser depuradas y posteriormente reutilizadas. Después de haberse realizado los tratamientos pertinentes y procesos de depuración, el efluente de salida de la planta puede ser devuelto a un cauce receptor, véase: un río, la mar o un embalse, con el fin de mantener el equilibrio ambiental.

Se distinguen dos tipos principales de plantas de tratamiento de aguas residuales, según el origen del agua a tratar. Se establecen:

- E.D.A.R: Estación Depuradora de Aguas Residuales, plantas dedicadas al tratamiento de aguas residuales cuyo origen es mayoritariamente urbano y derivado del uso en poblaciones.
- E.D.A.R.I: Estación Depuradora de Aguas Residuales Industriales, plantas para el tratamiento de aguas residuales derivadas de la utilización en diferentes procesos en industrias.

En este proyecto nos centraremos en el primer tipo, la E.D.A.R, ya que la instalación objeto de estudio se pretende establecer en este tipo de planta de tratamiento. En ella, además de realizar una depuración en la cual se reduzca al máximo la contaminación del vertido, se quiere asegurar la inocuidad para el medio ambiente. Se tiene como objetivo el ahorro energético, la valorización energética, así como el aprovechamiento de los residuos y subproductos obtenidos de la depuración, para que estos puedan ser empleados para otros usos.



Será considerada la siguiente clasificación de aguas residuales para el tratamiento:

- Aguas residuales domésticas: Son aquellas aguas residuales provenientes de las actividades domésticas como lavado de ropa, preparación de alimentos, limpieza, baño... Estas aguas presentan un alto contenido de materia orgánica, grasas y detergentes.
- Agua de lluvia: el agua de lluvia fluye desde las calles, tejados, jardines y superficies de terreno. Genera arrastres de basura y materiales orgánicos e inorgánicos acumulados en la superficie al sistema de alcantarillado.
- Aguas residuales agrícolas: las cuales provienen de las aguas de lluvia que circulan libremente por la superficie del terreno. Estas aguas conllevan arrastres de sales, materiales sólidos en suspensión, presencia de pesticidas y materia en disolución.
- Residuos líquidos industriales: provienen de diferentes procesos de pequeñas industrias y talleres.

El agua residual derivado del consumo urbano está formado por la unificación de las aguas residuales propias del consumo, más los arrastres de agua de lluvia, así como también puede asumir caudales provenientes de pequeñas industrias o talleres. Estos caudales son destinados a la infraestructura de la red de alcantarillado del municipio, derivando a la red de aguas principal, donde a través de grandes colectores se envía a las plantas de tratamiento de aguas residuales, para ser depurados y retornados al medio en condiciones aceptables.



Los objetivos primarios de una E.D.A.R son:

- Eliminación de los residuos, aceites, grasas, elementos o sólidos en suspensión y arenas. Estos deshechos serán clasificados y evacuados hasta un punto de gestión de residuos adecuado, así como ciertos residuos pueden ser empleados para su valorización y posterior uso.
- Eliminación de diferentes materiales decantables de origen orgánico y/o de origen inorgánico.
- Eliminación de la materia orgánica.
- Supresión de los compuestos amoniacales y de aquellos que contengan fósforo, para el vertido del agua tratada a zonas consideradas de tratamiento especial o de impacto sensible.
- Transformación de los residuos estancados en fangos seguros, para su posterior tratamiento y que éstos sean dispuestos en la instalación para ser valorizados energéticamente.

#### UTILIDAD DE LA E.D.A.R

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales tienen la utilidad de realizar el tratamiento de depuración de las aguas ya empleadas. Si las aguas residuales no son tratadas correctamente y llegan a los cauces receptores en esas condiciones, se producen efectos adversos en el medio ambiente. Estas plantas son necesarias para evitar los siguientes efectos:

- Aumento de la eutrofización por la presencia de fósforo y nitrógeno.
- Emisión al medio de grandes cantidades de microorganismos patógenos.



- Vertido a los cauces receptores de aguas con altas temperaturas.
- Alto consumo de oxígeno disuelto en el cauce receptor por descomposición de la materia orgánica y los compuestos con amoníaco.
- Generación de malos olores debido al arrastre de materia orgánica y a los procesos de descomposición de la misma.
- Acumulación de sólidos sedimentables en suspensión en el fondo, así como en las orillas del cauce.
- Saturación de las orillas y vegetación aledaña al cauce receptor con residuos sólidos de arrastre del agua residual.

### GRADO DE CALIDAD DEL TRATAMIENTO

Las aguas tratadas han de tener una calidad mínima requerida en su tratamiento. Para ello se determinan una serie de parámetros analíticos, de los cuales los más importantes son:

- Sólidos en suspensión o materias en suspensión (TSS): Total de Sólidos en Suspensión, hace referencia a las materias sólidas en suspensión de tamaño superior a 1  $\mu\text{m}$ , las cuales son independientes de que su naturaleza sea orgánica o inorgánica.

Gran parte de estos sólidos son atraídos por la gravedad en periodos cortos de actuación, por lo que son fácilmente separables del agua residual cuando ésta se mantiene en estanques que tengan elevado tiempo de retención del agua residual.

- D.B.O<sub>5</sub>: Demanda Bioquímica de Oxígeno, la cual mide la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación bioquímica de la materia orgánica



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



a dióxido de carbono durante un periodo de 5 días. La DBO es un indicador de la concentración másica de compuestos orgánicos biodegradables. Cuanto más alto es el valor, peor calidad tiene el agua.

- D.Q.O: Demanda Química de Oxígeno, es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación total de la materia orgánica a dióxido de carbono. La DQO es un indicador de la concentración de compuestos orgánicos.
- COT: Carbono Orgánico Total, expresado como C, incluyendo todos los compuestos orgánicos.
- NT: Nitrógeno Total, expresado como N, hace referencia al amoníaco libre y el amonio ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ), los nitritos ( $\text{NO}_2\text{-N}$ ), los nitratos ( $\text{NO}_3\text{-N}$ ) y los compuestos de nitrógeno orgánico.
- PT: Fósforo Total, expresado como P, incluye todos los compuestos de fósforo orgánicos e inorgánicos, disueltos o unidos en partículas.
- COV: Compuestos Orgánicos Volátiles, entendiendo como todo aquel compuesto orgánico, así como la fracción de creosota, que tenga a 293,15 K una presión de vapor de 0,01 kPa o más, o que tenga una volatilidad equivalente en las condiciones particulares de uso.
- Concentración de metales: concentración de compuestos orgánicos halogenados absorbibles, tales como: Cr, Cu, Ni, Pb, Zn...

### TIPOS DE E.D.A.R EN FUNCIÓN DEL TRATAMIENTO

De acuerdo a los tipos de tratamiento para la depuración de las aguas residuales, distinguimos los dos siguientes tipos de E.D.A.R:

- Físico / Químicas: en estas plantas el tratamiento habitual se basa en la coagulación y la floculación en una operación por cargas o en



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



continuo. En ellas se elimina la contaminación del agua que se encuentra en estado coloidal.

Este tratamiento tiene las siguientes etapas:

- Ajuste del PH.
  
  - Coagulación: etapa en la que se adiciona el reactivo coagulante al agua residual para neutralizar las cargas electroestáticas de los coloides, favoreciendo su agrupación y la formación, por tanto, de flóculos. A su vez, se aporta una agitación rápida para favorecer la desestabilización de los coloides.
  
  - Floculación: en esta etapa se adiciona el reactivo floculante para favorecer la agrupación de los flóculos formados en la etapa anterior de coagulación. Con el fin de favorecer la agrupación de los flóculos, se lleva a cabo una agitación lenta.
  
  - Decantación: llevada a cabo en piscinas o depósitos decantadores, en ellos se realiza la separación sólido-líquido por acción de la gravedad, acumulándose los flóculos en la parte inferior de los decantadores. Estos flóculos o lodos, se extraerán del sistema de tratamiento, para posteriormente ser deshidratados y posteriormente realizar su valorización energética, aplicación de un posterior uso o eliminación en el centro adecuado de residuos.
  
  - Biológicas: en estas plantas la depuración tiene lugar mediante procesos biológicos. Se basa en el empleo de microorganismos que actúan sobre la materia orgánica e inorgánica en suspensión, transformándola en sólidos sedimentables, donde en este estado es más factible su separación.
- Las instalaciones basadas en tratamientos biológicos, generalmente están formadas por una línea de agua y una línea de fangos.



Los procesos de tratamiento de una E.D.A.R. biológica son variantes, éstos dependen directamente del tipo de aguas residuales que la planta vaya a asumir y del dimensionamiento necesario de la instalación. Estos procesos, en líneas generales, se agrupan en:

- Tratamiento de aguas (Línea de agua): pretratamiento, tratamiento primario, secundario y terciario.
- Tratamiento de fangos (Línea de fangos): recuperación de fangos, condensación, transformación, acondicionamiento, secado y eliminación. Existen diferentes variantes de la línea de fangos en función de los requisitos de la planta, puesto las últimas etapas de acondicionamiento, secado y eliminación no son comúnmente instaladas.
- Tratamiento de gases: valorización energética de los gases producidos con concentración en metano media-alta.

### ETAPAS DE UNA E.D.A.R BIOLÓGICA

En las estaciones depuradoras convencionales, basadas en el concepto de la E.D.A.R tipo biológica, se distinguen dos líneas de tratamiento:

- Línea de agua: donde se incluyen todos los procesos de tratamiento necesarios para reducir y eliminar los contaminantes que están presentes en las aguas residuales a tratar.
- Línea de fangos o lodos: en ella tiene lugar el tratamiento, aprovechamiento y valorización de los subproductos originados en la línea de agua.

A continuación, serán determinadas todas las etapas, a nivel global, que



tienen lugar en ambas líneas de tratamiento. La selección de los tratamientos para la depuración de las aguas residuales, dependen directamente del tipo de agua residual a tratar y de las dimensiones de la E.D.A.R según los habitantes equivalentes, ya que no son de estricta aplicación todas sus etapas:

+ Línea de agua

En la línea de agua se establecen cuatro etapas de tratamiento principales, las cuales son:

- Pretratamiento:

Antes del tratamiento principal, las aguas residuales son sometidas a un tratamiento previo, en donde son ejecutadas diferentes operaciones físicas y mecánicas con el fin de separar del agua residual la mayor cantidad de elementos en suspensión y materias, que, por su tamaño y naturaleza, puedan dar lugar a problemas en las etapas sucesivas del proceso de tratamiento.

El diseño óptimo de una estación de pretratamiento y la realización de un mantenimiento exhaustivo, es de vital importancia, puesto que cualquier deficiencia en los mismos repercutirá negativamente en el resto de las instalaciones posteriores. Este hecho puede originar obstrucciones y daños en bombas, tuberías y válvulas, así como puede provocar la erosión interna de los equipos, formación de incrustaciones internas...

Las operaciones físicas y mecánicas que tienen lugar en el pretratamiento son:

- Separación de grandes sólidos

En dependencia de las aguas residuales a tratar, en las cuales se prevea la presencia de grandes arrastres de arenas o sólidos de gran tamaño, será



necesario instalar en la cabecera de la instalación de la depuradora un pozo de gruesos, cuya función permite la separación de dichos elementos. Este pozo estará ubicado en la entrada del colector de llegada de aguas residuales a la E.D.A.R. Su construcción presentará en su parte inferior una forma de tronco de pirámide invertida (Fig.5), con el fin de concentrar los sólidos y elementos a eliminar en una zona específica para su extracción. Para la retirada de los sólidos recopilados en el pozo de gruesos, se emplea una cuchara bivalva o de cazo, la cual generalmente está instalada en un pórtico que permite el movimiento horizontal y vertical de la misma. Los sólidos obtenidos del proceso de separación son almacenados en contenedores adecuados para su posterior envío a una planta de tratamiento de residuos.



*Figura 5: Pozo de gruesos.*

*Fuente: Imagen obtenida de “COPREGA S.A.C”.*

- Desbaste

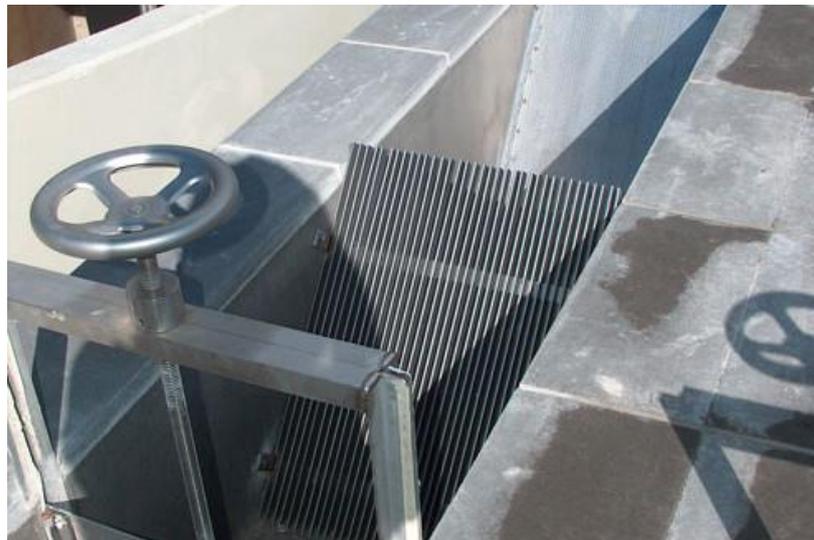
Mediante el desbaste se consigue la eliminación de sólidos de mediano y pequeño tamaño. Si no es realizado el desbaste, las aguas residuales, en las que se prevé un arrastre de sólidos, pueden provocar el posterior deterioro mecánico de la instalación, así como obstruir la corriente del paso de agua.



Este desbaste consiste en hacer pasar la corriente de aguas residuales a través de un enrejado (Fig.6). Dependiendo de la separación entre los barrotes del enrejado, se puede realizar una separación escalonada desde los sólidos de mayor tamaño a los de menor. Por ello se diferencia:

- Desbaste de gruesos: el espaciado entre barrotes se define de 50 a 100 mm de separación.
- Desbaste de finos: el espaciado entre los barrotes se reduce de 10 a 25 mm de separación.

Este tipo de enrejados pueden tener un diseño recto o curvo, con el fin de realizar una captación de residuos más óptima. Por otro lado, los sólidos retenidos son extraídos de forma manual, así como mediante el empleo de enrejados móviles que permiten la limpieza automática cada cierto periodo de tiempo, o cuando éstos se encuentre saturados de residuos y obstaculicen el paso del flujo de agua.



*Figura 6: Etapa de desbaste.*

*Fuente: Imagen obtenida de "COPREGA S.A.C".*



o Tamizado

Una vez eliminados los elementos de mayor tamaño, mediante la operación de tamizado, se busca la eliminación, o en su defecto la reducción, de los sólidos en suspensión de las aguas residuales.

Para ello se realiza la filtración de las aguas a través de un filtro rotativo, fijo o deslizante, dotados con un soporte de ranuras de paso a través de las cuales se lleva a cabo el tamizado de sólidos de 1 a 10 mm. Existen distintos tipos de tamices:

- Tamices rotativos: estos tamices están formados por un enrejado cilíndrico de eje horizontal, cuyo eje motriz está actuado por un motorreductor. El tambor rotativo está formado por barras de acero inoxidable de sección trapezoidal. El tamiz se alimenta por su periferia en un punto fijo del diámetro exterior del tambor, de forma que el agua residual se fuerce a pasar por el mismo. Los sólidos de mayor tamaño al paso de filtración del tamiz se quedarán en él retenidos, mientras que el agua residual junto con los sólidos de menor tamaño al paso de filtración, atravesarán el tambor del enrejado. Gracias a su movimiento rotativo y a la acción de un rascador instalado en la descarga, se podrán eliminar estos sólidos y no saturar el tamiz (Fig.7).

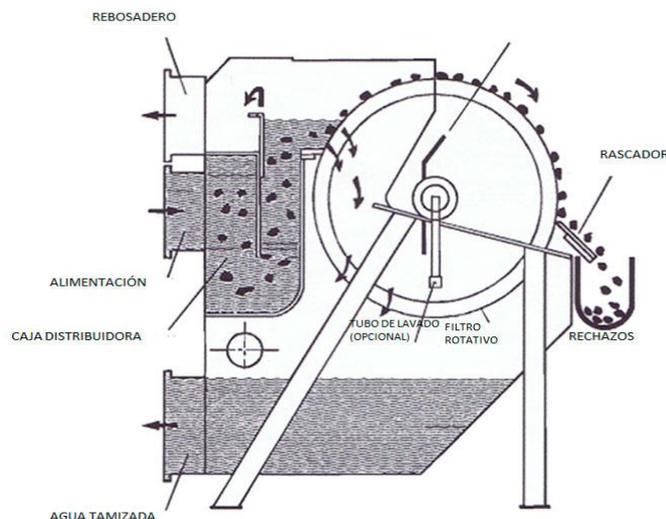


Figura 7: Tamiz rotativo.

Fuente: Imagen obtenida de "HIDROMETÁLICA".



· Tamices fijos o estáticos auto-limpiantes: estos tamices constan de un enrejado con barras de acero inoxidable de sección triangular de forma recta o curvada, dispuestas horizontalmente. La parte plana de las barras del enrejado es orientada al flujo de aguas residuales, teniendo éste una inclinación decreciente entre  $45^\circ$  y  $65^\circ$ , con lo que se fomenta la separación de los sólidos, el escurrido de los mismos y la evacuación fuera del sistema de tamizado.

El agua residual a tratar se alimenta por la parte superior del tamiz, los sólidos de mayor tamaño al paso de filtración se quedarán en él retenidos y debido a su inclinación rodarán hasta el punto de eliminación en su parte inferior. El agua residual junto con los elementos sólidos de un tamaño inferior al enrejado del tamiz, pasarán las barras y serán recogidos en una tubería en la parte inferior del equipo (Fig.8).

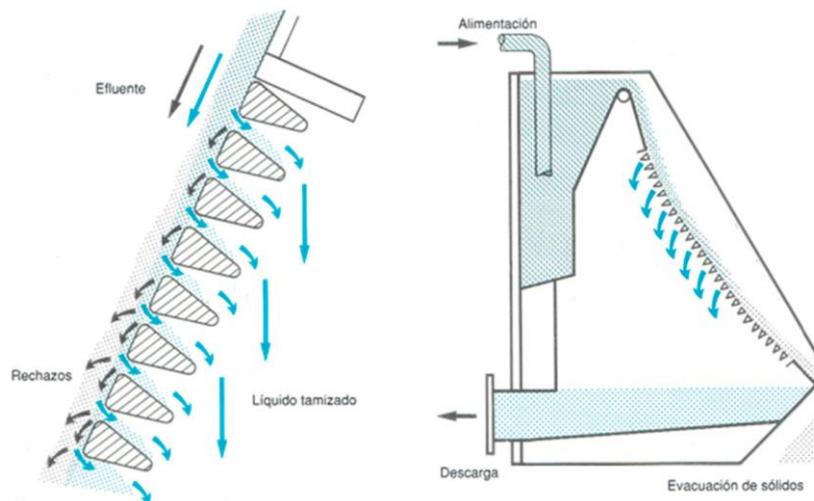


Figura 8: Tamiz estático.

Fuente: Imagen obtenida de "HIDROMETÁLICA".

· Tamices deslizantes: es considerado un tipo de tamiz de uso especial, puesto es empleado para la separación de sólidos en suspensión de muy pequeño tamaño. Es denominado tamiz para el desbaste de finos, su paso de filtración oscila de los 0,1 mm a los 3 mm. Su disposición es de tipo vertical y de tamizado continuo.



- Desarenado

El desarenado es un proceso el cual tiene como objeto la eliminación de materias pesadas, con una relación de tamaño correlativa a las anteriores, superior a 0,1 mm. La finalidad de este tratamiento es evitar las sedimentaciones en los canales de conducción posteriores, así como proteger equipos susceptibles de abrasión.

Existen dos tipos de canales desarenadores:

- Canales desarenadores de flujo constante (Fig.9): en estos canales, independientemente del caudal que los atraviese, se mantiene una velocidad de circulación fija no superior a 0,4 m/s. Con ello se consigue que sedimenten la mayor parte de las partículas de origen inorgánico y la menor parte de las partículas de origen orgánico.
- Canales desarenadores de flujo variable: este tipo de canales son empleados en instalaciones con un caudal de admisión de aguas residuales a tratar bajo. Disponen de canales con una capacidad de almacenamiento para un periodo de 4-5 días, en donde las arenas son extraídas mediante métodos manuales.



*Figura 9: Canal Desarenador flujo constante.  
Fuente: Imagen obtenida de “HIDROMETÁLICA”.*



Los elementos a tratar en esta parte del proceso, no son necesariamente arenas, sino también partículas minerales, piedras de pequeño tamaño, gravas, así como también elementos orgánicos que no son putrescibles, semillas, huesos, granos de café...

- Desengrasado

Etapas del proceso de pretratamiento en la cual se realiza la eliminación de las materias flotantes ligeras y de las grasas. Se distinguen dos tipos de desengrasadores:

- Desengrasadores aireados (Fig.10): en este tipo de desengrasadores se inyecta aire para desemulsionar las grasas y lograr una mayor flotación de las mismas. La retirada de las grasas es realizada de forma manual.



*Figura 10: Desengrasador aireado.*

*Fuente: Imagen modificada obtenida de “Google imágenes”.*

- Desengrasadores estáticos: estos equipos están formados por depósitos dimensionados para la asimilación de los caudales de tratamiento, dotados con un tabique central con un espacio inferior. El caudal de agua residual se hace pasar por estos depósitos,



forzando al flujo a circular por su parte inferior, logrando la retención de los compuestos de menor densidad que contiene el agua en la superficie. La retirada de las grasas es realizada de forma manual.

- Tratamiento primario:

El tratamiento primario tiene por objeto la eliminación de los sólidos en suspensión de las aguas residuales una vez realizado el pretratamiento, así como la reducción de la materia biodegradable, puesto que parte de estos sólidos están formados por materia orgánica.

El Real Decreto-Ley 11/95 <sup>1</sup>, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, define el tratamiento primario como:

*“El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido, y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%”.*

Se establecen dos tipos de tratamiento primario:

·Decantación primaria: mediante el empleo de depósitos decantadores, se lleva a cabo la eliminación de la mayor parte posible de los sólidos sedimentables por gravedad. Los sólidos decantados deben de ser retirados, ya que sino en los siguientes procesos de tratamiento existiría una alta demanda de oxígeno.

1 Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. BOE-A-1995-27963



·Tratamientos fisicoquímicos: en este tipo de tratamientos se realiza la adición de reactivos químicos con los que se reduce los elementos sólidos en suspensión, eliminando además sólidos coloidales. Se realizan procesos de coagulación y floculación para aumentar el tamaño y la densidad de los mismos, con que se fomenta la sedimentación al fondo de los decantadores.

Este tipo de tratamientos son especialmente empleados con el fin de evitar sobrecargas en el posterior tratamiento biológico cuando se producen fuertes variaciones de caudal, para reducir el contenido en fósforo y para cuando las aguas residuales presenten vertidos de índole industrial que afecten al posterior tratamiento biológico.

- Tratamiento secundario:

El tratamiento secundario tiene como principal objetivo el tratamiento biológico, el cual se lleva a cabo mediante la ayuda de microorganismos bacterianos. Dichos microorganismos actúan sobre la materia orgánica que se encuentra presente en las aguas residuales. Para su desarrollo necesitan la presencia de oxígeno diatómico, por lo que se deben de encontrar en condiciones aerobias.

El Real Decreto-Ley 11/95 <sup>1</sup>, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, define el tratamiento secundario como:

*“El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso en el que se consiga la eliminación de materia orgánica”.*

Una fracción de la materia orgánica presente en las aguas residuales se oxida debido a la flora bacteriana, de donde las bacterias obtienen la energía necesaria para el mantenimiento celular.

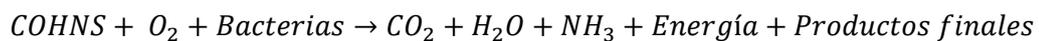


Por otro lado, sobre la otra fracción de dicha materia orgánica se produce la síntesis celular, empleando la energía liberada en la fase de oxidación, donde se convierte en nuevo tejido celular.

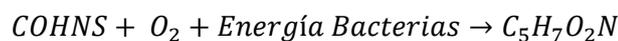
Cuando se consume la materia orgánica disponible, se produce el fenómeno de respiración endógena, en donde las nuevas células comienzan a consumir su propio tejido celular para obtener energía para su mantenimiento celular.

En estos procesos, por tanto, tienen lugar tres reacciones: oxidación, síntesis celular y respiración endógena. Para el mantenimiento de las reacciones se realiza un aporte de oxígeno, introduciendo aire en el tratamiento biológico. Los depósitos reciben el nombre de reactores biológicos. A continuación, se detallan las reacciones:

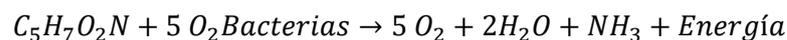
#### Reacción de oxidación



#### Reacción de síntesis celular



#### Respiración endógena



Bajo la formación de las nuevas bacterias generadas del proceso de síntesis celular, se produce el fenómeno de floculación en superficie. Con ello se generan agregados de mayor densidad que llegan a absorber la materia en estado coloidal.

Estos agregados son conocidos como fangos o lodos, a los cuales se les somete a un proceso de lodos activos. En este proceso el contenido de los reactores biológicos es enviado a una segunda fase, de sedimentación secundaria, en donde se produce la separación de los lodos de los efluentes depurados de la etapa anterior. De esta separación, una fracción



de lodos se recircula al reactor biológico para mantener una concentración determinada de microorganismos, mientras que otra fracción se purga es usada en la línea de fangos o lodos.

- Tratamiento terciario:

Mediante la realización del tratamiento terciario se pueden obtener mejores calidades de los efluentes finales, cuando es necesario el vertido de estos a una zona especial o con requisitos medioambientales más exigentes.

En este proceso se busca la máxima eliminación de la materia en estado coloidal y particulada, mediante la aplicación de procesos fisicoquímicos de coagulación y floculación, incluyendo posteriormente una etapa de decantación y filtración.

Por otro lado, su objetivo también versa en la eliminación biológica del nitrógeno y fósforo, así como también la reducción en los efluentes depurados de cloro residual, consiguiendo muy bajas concentraciones.

A continuación, se muestra un diagrama secuencial, donde se reúnen las etapas, procesos y la naturaleza de los tratamientos de la línea de agua:



Diagrama secuencial de tratamientos (línea de agua).

Fuente: elaboración propia.



+ Línea de lodos

Como resultado del tratamiento de las aguas residuales en la línea de agua, además de producirse un efluente depurado a un cauce receptor, se obtienen subproductos definidos como lodos o fangos. Se distinguen dos tipos de lodos; los lodos primarios, obtenidos del tratamiento primario, y los lodos secundarios o biológicos, obtenidos en la decantación posterior al tratamiento biológico.

En la línea de lodos se distinguen cuatro etapas:

- Espesamiento:

Esta primera etapa del tratamiento de lodos, tiene como objeto incrementar la concentración de los lodos en espesadores. Para ello se trata de eliminar parte de la concentración de agua que contienen.

Los métodos más empleados son el espesamiento por gravedad, el espesamiento por flotación y el espesamiento mecánico:

·Espesamiento por gravedad (Fig.11): se produce la alimentación superior por la zona central del espesador, se emplea la acción de la fuerza de gravedad. En la parte inferior se recogen los lodos espesados y en la superior el denominado lodo sobrenadante. Este sistema es empleado para lodos primarios, ya que decantan bien por gravedad.

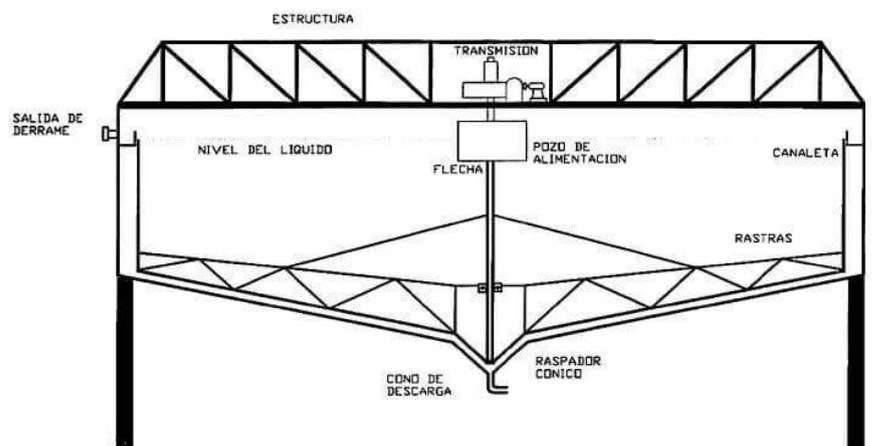


Figura 11: Espesador.

Fuente: Imagen modificada obtenida de "Google imágenes".



-Espesamiento por flotación: el lodo se concentra en la parte superior del decantador, debido a la nucleación y formación de microburbujas unidas a los sólidos en suspensión. Esta formación acaba siendo menos densa que el agua. Este sistema es empleado para lodos biológicos, ya que tienen una baja capacidad de sedimentación.

-Espesamiento mecánico: se realiza la concentración del lodo mediante el aumento de las fuerzas gravitacionales dentro del sistema formado en los espesadores. Se emplea la centrifugación, el tambor rotativo y las mesas espesadoras, menos empleadas.

- Estabilización:

En la etapa de estabilización se pretende reducir al máximo la fracción de materia biodegradable presente en los lodos, con el fin de evitar su putrefacción.

Para realizar la estabilización se pueden llevar a cabo los siguientes procesos:

-Mediante el empleo de digestores, en los cuales se lleva a cabo la digestión aerobia o anaerobia con lo que se consigue eliminar del 40% al 50% del total de la materia orgánica que se encuentra presente en los lodos.

-Mediante la estabilización química de los lodos, en la cual se eleva el pH añadiendo cal.

-Mediante el tratamiento o valorización térmica de los lodos.



- Acondicionamiento:

En la etapa de acondicionamiento se añaden productos químicos a los lodos, con el fin de facilitar en mayor grado la deshidratación y así eliminar la mayor fracción posible de agua.

- Deshidratación:

En esta última fase de la línea de lodos, se lleva a cabo la deshidratación de los mismos, eliminando parte del agua contenida en ellos. Con este proceso los lodos ya no están en fase líquida, sino que se encuentran en fase sólida y presentan en torno a un 20% a un 30% de materia total seca. Las metodologías más empleadas para la deshidratación de lodos son: los filtros de banda, el secado térmico, la centrifugación y las etapas de secado.

A continuación, se muestra un diagrama secuencial, donde se reúnen las etapas, procesos y la naturaleza de los tratamientos de la línea de lodos:



Diagrama secuencial de tratamientos (línea de lodos).

Fuente: elaboración propia.



## CONCEPTO DE HABITANTE EQUIVALENTE

La Directiva 91/271/CEE define el concepto de habitante equivalente (h.e) como: “La carga orgánica biodegradable con una demanda bioquímica de oxígeno de 5 días ( $DBO_5$ ) de 60 g de oxígeno por día”. El concepto de habitante equivalente, por tanto, permite comparar cargas contaminantes independientemente de su origen y de la naturaleza de estas.

Conocido el caudal de aguas residuales (Q) generado por una población y núcleo urbano y su valor de  $DBO_5$  (350 mg  $DBO_5/L$ ), la población equivalente se determina mediante la siguiente expresión:

$$h.e = \frac{\text{Caudal (m}^3 \text{ día}^{-1}) \cdot \text{Concentración } DBO_5 \text{ (mg } DBO_5 L^{-1})}{60 \text{ (g } DBO_5 \text{ día}^{-1})}$$

En aquellas aglomeraciones en las que los aportes de vertidos biodegradables distintos a los de procedencia domestica sean nulos, o de escasa importancia, la población equivalente será muy similar a la población de derecho de la aglomeración. Se estima como valor habitual de la relación población equivalente/población de derecho, un factor de 1,5 o 2.

### 1.3.2. GENERACIÓN DEL BIOGÁS EN DIGESTORES ANAEROBIOS

Como se ha citado en el apartado anterior de este proyecto, existen diferentes técnicas para llevar a cabo la estabilización de los lodos procedentes de la línea principal de tratamiento del agua residual. Su función versa en la máxima reducción de la materia biodegradable que estos lodos presentan, para evitar la putrefacción.

Los digestores anaerobios son los más empleados en combinación con las E.D.A.R de tratamiento biológico, ya que son los más eficientes



consiguiendo una reducción de la materia orgánica global del 40% al 50%.

Con motivo de la depuración de las aguas residuales urbanas, siguiendo el proceso de tratamiento de una E.D.A.R biológica, se generan lodos como subproducto procedente de la línea primaria de agua, formándose tanto el fango primario como el fango biológico.

En estos casos se realiza un espesado previo a la digestión anaerobia o biometanización, espesando y aumentando la concentración de los lodos, para de esta forma disminuir y eliminar la concentración de agua que contienen.

Una vez espesados, estos lodos se depositan en un digestor primario donde se produce el proceso de digestión en ausencia de oxígeno. Dicho proceso puede ser mediante una digestión a temperatura ambiente, así como mediante un proceso mesofílico (35-37 °C) o termofílico (55-60 °C).

Gracias a la actuación de un grupo heterogéneo de microorganismos, se produce la digestión anaerobia, donde se consigue la descomposición de la materia orgánica dando lugar al digestato, siendo una mezcla de productos minerales (N, P, K, Ca...). A su vez, como consecuencia de la digestión y de la actuación de los microorganismos bacterianos, se produce la emisión de productos gaseosos denominados biogás. Este biogás estará compuesto en su mayor proporción por metano (CH<sub>4</sub>) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pero también se encontrarán en su composición otros gases como vapor de agua (H<sub>2</sub>O), hidrógeno (H<sub>2</sub>), sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) ...

El biogás será destinado para el aprovechamiento y la valorización energética mediante su combustión en calderas, motores dual-fuel o en microturbinas. Por otro lado, el digestato puede ser empleado para un posterior uso como compost, tras procesos de deshidratación y adición de los compuestos.



Mediante este proceso se propicia la reducción de emisiones de efecto invernadero, así como el aprovechamiento energético y fertilizante de los residuos orgánicos obtenidos como subproductos.

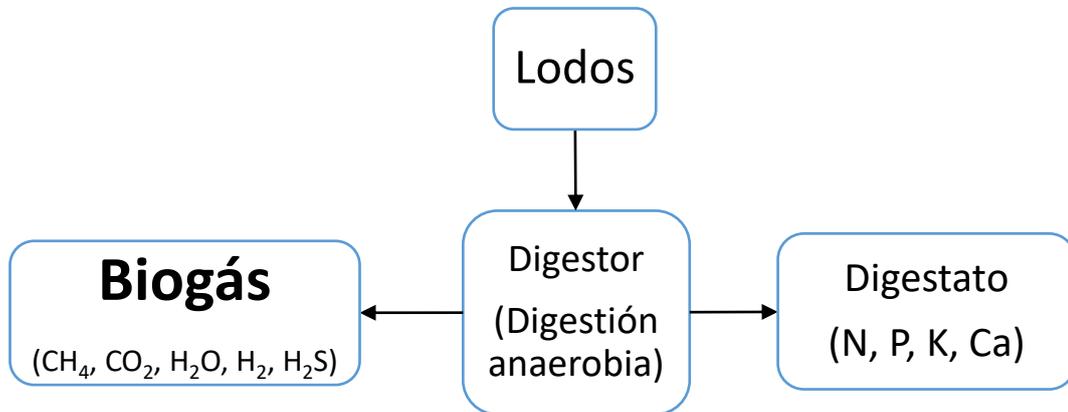


Diagrama de bloques biogás.

Fuente: elaboración propia.

## FASES DE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

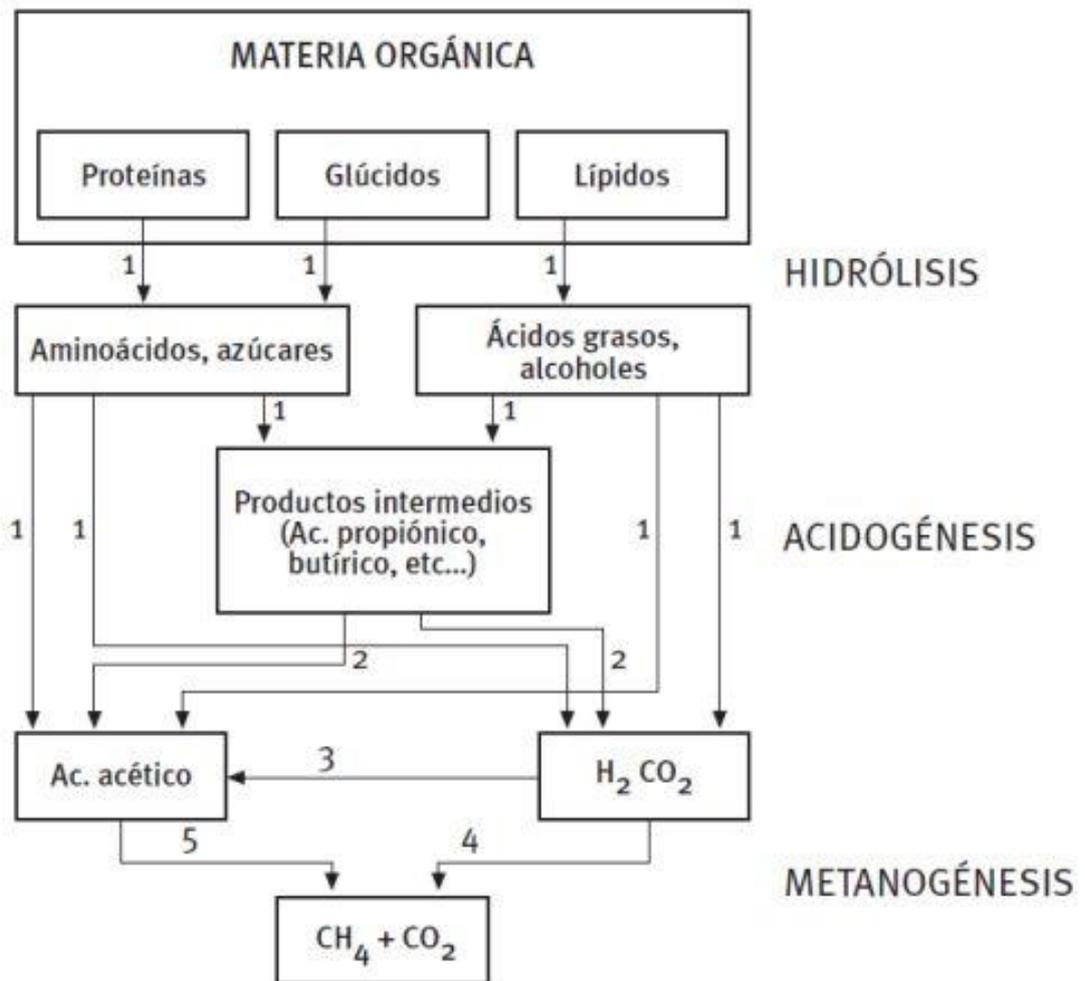
En la digestión anaerobia tienen lugar una serie de etapas consecuentes del proceso de degradación y digestión de la materia. Se consideran cuatro etapas principales: hidrolítica, acidogénica, acetogénica y metanogénica; formadas por tres procesos consecutivos denominados a su vez: hidrólisis, acidogénesis y metanogénesis. En dichas etapas, intervienen cinco grandes poblaciones de microorganismos.

Cada etapa va a estar caracterizada por las condiciones físico/químicas en las que se encuentre el digestor, y va a depender de las diferentes velocidades de crecimiento, así como de la sensibilidad a los compuestos intermedios que actúen como inhibidores.

De esta forma, cada etapa poseerá velocidades de reacción diferentes en función de la constitución de la materia, con lo que se debe de buscar la moderación entre las condiciones físicas y la acumulación de inhibidores, con el fin de propiciar una adecuada proliferación de microorganismos, así



como favorecer el desarrollo entre las etapas del proceso. La curva típica del crecimiento de microorganismos sigue los siguientes pasos: latencia, crecimiento exponencial, estacionalidad y decrecimiento.



Fases de la digestión anaerobia.

Fuente: imagen obtenida de "Digestores Anaerobios" IDAE.

### Fase hidrolítica

La fase hidrolítica es considerada como la primera etapa de la degradación de la materia dentro del digestor, en la cual se transforma la materia orgánica compleja en moléculas más simples mediante la rotura de los polímeros orgánicos que no son solubles. En ella actúan enzimas hidroelctricas-acidogénicas con el fin de formar moléculas solubles y degradables como aminoácidos, ácidos grasos y compuestos inorgánicos. Es por ello por lo que en esta fase se degradan los



compuestos orgánicos considerados como más complejos, los cuales son: las proteínas, hidratos de carbono y los lípidos.

#### Fase acidogénica o fase fermentativa

La fase acidogénica es la segunda etapa del proceso de digestión anaerobia, en la cual, a través de un proceso de fermentación de los compuestos solubles restantes de la primera fase, se obtiene hidrógeno, dióxido de carbono y productos intermedios como ácidos grasos, alcoholes, aminoácidos y azúcares. En este proceso actúan bacterias acidogénicas para la transformación de los compuestos de la primera etapa en compuestos de peso molecular intermedio.

#### Fase acetogénica

Una vez concluida la fase de fermentación acidogénica, las bacterias acetogénicas serán las encargadas de actuar sobre los compuestos intermedios anteriormente citados, de tal forma que se producirán productos como ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno.

#### Fase metanogénica

La fase metanogénica, es la última etapa del proceso. Mediante los compuestos anteriormente formados, aparecen en el medio los microorganismos encargados en su mayor parte de la producción del metano. Van a existir dos tipos de bacterias:

- Las que a partir del ácido acético van a producir metano y dióxido de carbono, denominadas bacterias metanogénicas acetoclásticas.
- Las que a partir del hidrógeno y del dióxido de carbono, procedentes de las etapas anteriores, van a generar metano y agua. Estas bacterias se denominan bacterias metanogénicas hidrogenófilas.

Las bacterias acetoclásticas, son las encargadas de la mayor producción de metano teniendo como origen el ácido acético. Se considera un



porcentaje de producción entorno al 60-70% del total de metano producido. Esta última fase del proceso de digestión anaerobia, es la que posee una mayor duración de la degradación de la materia.

Como consecuencia de la degradación de la materia, además de formarse metano ( $\text{CH}_4$ ), también se da lugar a la formación de otros gases derivados del proceso.

La combinación de ellos, da lugar a una mezcla de gases denominada biogás. La composición del biogás está formada en mayor concentración por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), suponiendo el 80-90%. Mientras que, el resto de su composición, está formada por pequeñas concentraciones de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), oxígeno ( $\text{O}_2$ ) ...

El biogás producido, al ser un gas y ser volátil, es extraído por la zona superior de los digestores y es conducido al gasómetro, cuya finalidad principal es la acumulación del biogás producido, funcionando de reservorio o tampón

### PARÁMETROS QUE AFECTAN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia producida en los reactores biológicos, digestores, depende de un conjunto de consideraciones mediante las cuales se delimitan los parámetros ambientales y los parámetros operacionales de los mismos. Dichas consideraciones las agrupamos en:

#### Parámetros ambientales

Los parámetros ambientales en la producción del biogás, han de ser controlados e intervenidos para garantizar que no afecten negativamente al medio ambiente. Los parámetros que debemos de controlar deben de hacer referencia a las condiciones que deben de mantenerse en el desarrollo del proceso. Se distinguen los siguientes:



- Alcalinidad: es recomendable tener un control en la alcalinidad superior a 1,5 g/l  $\text{CaCO}_3$ , con el fin de evitar la acidificación del biogás producido y asegurar la capacidad de tampón o de reservorio.
- pH: se debe de evitar parámetros de pH ácidos, evitando la acidificación. Debe mantenerse en un pH 7, cercano a la neutralidad.
- Potencial redox: el potencial de reducción, o la capacidad de adquisición de electrones, debe de mantenerse en valores inferiores a -350 mV.
- Elementos tóxicos e inhibidores: donde se busca la mínima concentración posible de estos compuestos.
- Nutrientes: se debe de tener en cuenta la concentración óptima de nutrientes que aseguren el desarrollo, crecimiento y proliferación de los microorganismos dentro de los reactores biológicos.

#### Parámetros operacionales

Los parámetros operacionales hacen referencia a las condiciones de trabajo de los reactores biológicos, los cuales determinan la operativa de los mismos:

- Temperatura: la temperatura de operación es un parámetro muy importante a tener en cuenta, puesto de él depende la proliferación microbiana y la reacción sufrida en el interior de los reactores biológicos. La temperatura también afecta directamente a la sensibilidad de algunos inhibidores, citados anteriormente, como es el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ).



Los rangos de temperatura de operación son:

- Rango psicrófilico: temperatura ambiente, donde se toma como temperatura referencia 20 °C.
- Rango mesófilico: temperaturas de operación en torno a los 35 °C.
- Rango termófilico: temperaturas de operación en torno a los 55 °C. En este rango de temperatura se asegura la destrucción de patógenos, de una forma superior a las tasas de registro habitual.
- Agitación: se ha de transferir al sistema interno microbiano del reactor biológico, la energía necesaria como para propiciar la transferencia de sustrato a cada población o conjunto de bacterias, así como controlar y mantener unas concentraciones medias/bajas de inhibidores.
- Tiempo de retención: el tiempo de retención se define como la relación existente entre el volumen y el caudal de tratamiento del reactor biológico. Es por ello que determina el tiempo medio de permanencia de los lodos en el reactor biológico, sometidos a la acción de los microorganismos bacterianos.  
  
Existe un tiempo mínimo, superior o inferior al de retención, a partir de tiempo 0, por debajo del cual el reactor no presenta ningún tipo de actividad, ya está comenzando a producir el proceso de degradación y digestión de la materia.
- Velocidad de carga orgánica: la velocidad de carga orgánica al reactor, hace referencia a la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo.



Una velocidad de carga baja implica una baja concentración en los lodos de entrada, así como un elevado tiempo de retención. Por otro lado, una velocidad de carga alta, está relacionada con la reducción de la producción de biogás en referencia a la materia orgánica introducida.

### 1.3.3. TIPOS DE DIGESTORES ANAEROBIOS

Los digestores anaerobios pueden ser clasificados según su capacidad para mantener altos niveles de concentración de microorganismos en su interior, para que no se desencadene el proceso de digestión de lodos. Existen diferentes tipos de reactores biológicos en los cuales se emplean métodos para el mantenimiento de la población de microorganismos bacterianos.

A continuación, se detallan los principales tipos de reactores biológicos:

- Reactor biológico de mezcla completa sin recirculación.

En este tipo de reactor se busca el equilibrio entre las concentraciones de lodos para la digestión y la población de microorganismos. El reactor biológico está dotado con un sistema de agitación mecánico, mediante hélices o palas, en orientación vertical u horizontal. También puede realizarse la agitación mediante la recirculación interna del biogás. Este diseño compacto, es el más empleado para el tratamiento de lodos.

El tiempo de retención en estos reactores es elevado, ya que, para mantener el reactor en régimen estacionario, la concentración de microorganismos es la misma que el efluente. Por otro lado, la velocidad de reacción será baja, ya que depende de la concentración, la única forma de aumentarla sería aumentando el tiempo de reacción en el digestor. (Fig.12).

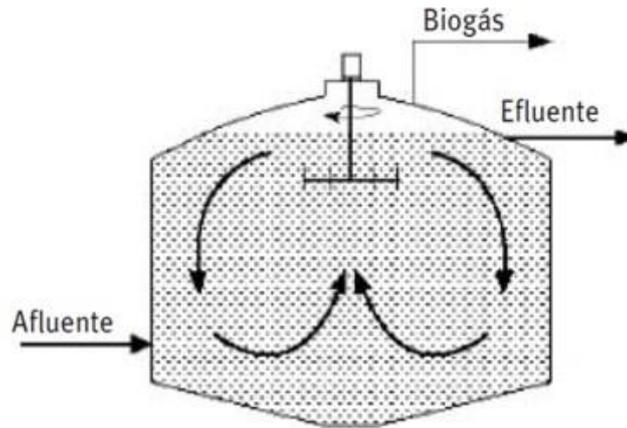


Figura 12: Reactor biológico de mezcla completa sin recirculación.  
Fuente: imagen obtenida de "Digestores Anaerobios" IDAE.

- Reactor biológico de mezcla completa con recirculación.

Este tipo de reactor es similar a la distribución anterior, con la salvedad de que posee un sistema de recirculación. Mediante este sistema pueden ser conseguidos tiempos de retención más bajos que en el reactor de mezcla sin recirculación, gracias al aumento del tiempo de retención de los microorganismos en el reactor. Esto hace que la generación de biogás sea más productiva y continua.

El efluente del reactor es recirculado a su interior. Para ello primer lugar se hace pasar por un desgasificador que elimine por completo las trazas de biogás, juntando la descarga del desgasificador al circuito de gas. En segundo lugar, se hace pasar por un decantador, con el fin de separar la materia sólida de la fase líquida. (Fig.13)

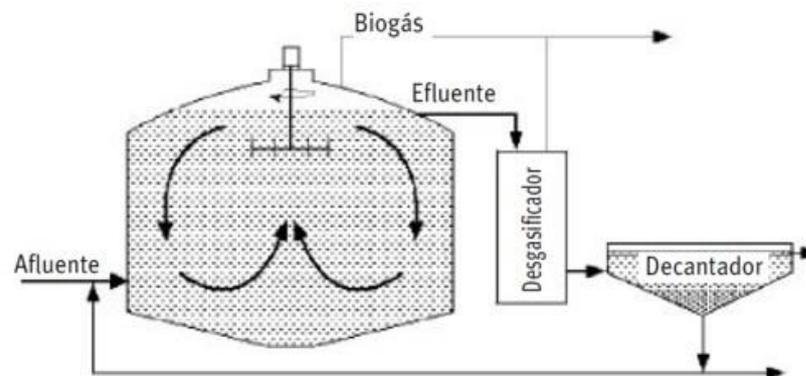


Figura 13: Reactor biológico de mezcla completa con recirculación.  
Fuente: imagen obtenida de "Digestores Anaerobios" IDAE.



- Reactor biológico con retención de biomasa, sin recirculación.

Con el objetivo de disminuir, aún más, el tiempo de retención con respecto al reactor de mezcla completa con recirculación, existen sistemas capaces de retener las bacterias en el interior del reactor. Se emplean tres métodos para la retención de biomasa en el reactor:

- Filtro anaerobio: en el que las bacterias anaerobias están fijadas a la superficie de un soporte inerte, o columna de relleno. El afluente se hace entrar por la parte inferior del filtro, haciendo que el flujo sea ascendente vertical, saliendo el efluente por la parte superior del reactor. Las bacterias, a través del flujo, se quedan atrapadas en los intersticios del filtro, por lo que se consigue la retención de las mismas en el interior del digestor. (Fig.14).

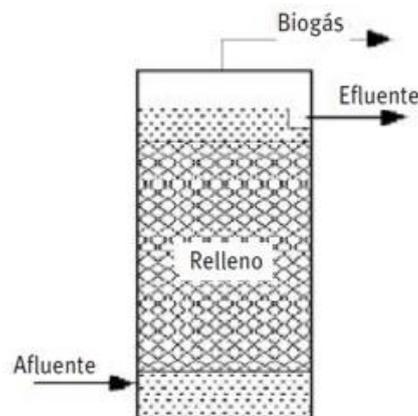


Figura 14: Filtro anaerobio.

Fuente: imagen obtenida de “Digestores Anaerobios” IDAE.

- Lecho fluidizado: En este sistema las bacterias se encuentran fijadas, formando una biopelícula, sobre pequeñas partículas de material inerte que se mantienen fluidizadas mediante el flujo ascendente adecuado del fluido. Para mantener el caudal adecuado, que permita la expansión y fluidización del lecho, se recurre a la recirculación del efluente a la entrada del afluente al reactor. (Fig.15).

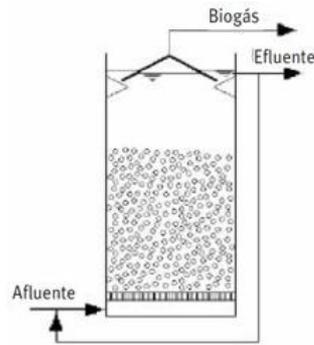


Figura 15: Lecho fluidizado.

Fuente: imagen obtenida de "Digestores Anaerobios" IDAE.

- Reactor de lecho de lodos: En este sistema se favorece la floculación o de las bacterias entre ellas, formando agregados de gran densidad, los cuales por sedimentación precipitan desde la superficie y se mantienen en el interior del reactor, teniendo en cuenta una velocidad ascendente adecuada del fluido. En la parte superior del reactor debe de existir separador de biomasa, líquido y biogás producido. (Fig.16).

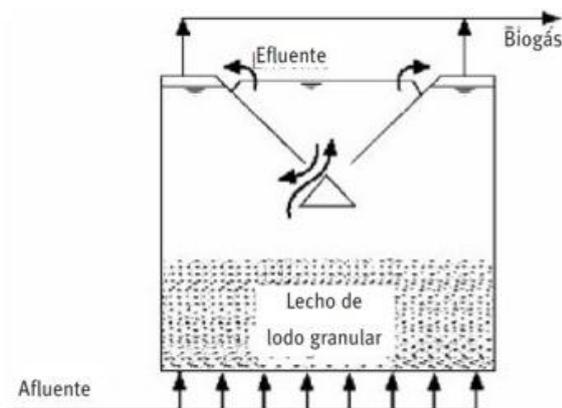


Figura 16: Reactor de lecho de lodos.

Fuente: imagen obtenida de "Digestores Anaerobios" IDAE.

A su vez, existen otros sistemas desarrollados que pueden ser combinados con los anteriores para dar lugar a reactores más eficientes y eficaces.

- Sistemas discontinuos

En este sistema la curva de crecimiento de microorganismos es igual a la curva de evolución temporal de la producción de biogás, por lo que no



existiría un tiempo de retención, sino un tiempo de digestión.

Con el fin de conseguir una producción constante de biogás, deben de combinarse varios reactores biológicos discontinuos con puestas en marcha intercaladas en el tiempo.

- Sistemas de dos etapas

Estos sistemas poseen un primer reactor con un tiempo de retención elevado, en el cual se favorece el proceso denominado hidrólisis. Se ubicará un segundo reactor biológico, de bajo tiempo de retención, el cual digiere la materia orgánica disuelta y los ácidos producidos de la primera etapa.

Si el primer reactor biológico fuese un sistema discontinuo, el líquido tratado en la segunda fase es el obtenido por percolación en la primera, una vez que se ha recirculado el efluente de la segunda. Este sistema permite mantener fácilmente la temperatura en el reactor discontinuo, controlando la temperatura del efluente del segundo reactor.

- Sistemas de dos fases

A diferencia de los sistemas de dos etapas, la separación de fases se refiere a mantener dos reactores en serie, en los cuales se realizan, respectivamente, las fases de acidogénesis y metanogénesis, y su objetivo es conseguir un tiempo de retención global inferior al correspondiente a un único reactor de mezcla completa. La separación es de tipo cinético, controlando el tiempo de retención de cada reactor, el cual será inferior en el primero, debido a las más altas tasas de crecimiento de las bacterias acidogénicas.

#### 1.3.4. ALTERNATIVAS PARA LA VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DEL BIOGÁS

Uno de los retos actuales es conseguir un desarrollo sostenible, en el que sea compatible la calidad del medio ambiente con respecto a la evolución técnico-económica de la sociedad. La demanda energética es una de las principales causas del deterioro del medio ambiente, ya que las emisiones



generadas en su producción y consumo provocan un fuerte impacto ambiental.

El ahorro en el consumo energético y la búsqueda de nuevos métodos de generación eficiente para la producción de energía, es una de las alternativas para conseguir la reducción de las emisiones. Es por ello, por lo que la valorización energética de los productos y subproductos generados de un proceso industrial, se considera una de las opciones más viables que pueden autoabastecer los servicios energéticos que éstas necesitan.

En el caso que nos atañe, para realizar la valorización energética del biogás generado como subproducto del tratamiento de las aguas residuales en una E.D.A.R de tipo biológico, son considerados tres tipos de equipos: la caldera de combustión directa, el grupo motor alternativo de gas-alternador con recuperación térmica de los gases de escape y la microturbina-alternador con recuperación térmica de los gases de exhaustación.

### CALDERA DE COMBUSTIÓN DIRECTA

La valorización energética del biogás mediante la instalación de una caldera de combustión directa, en la línea de lodos de la E.D.A.R, es una de las alternativas más simples para el aprovechamiento térmico del biogás.

Los elementos básicos de este equipo de combustión son: el quemador, el horno de calentamiento, los tubos y la envolvente. La combinación de estos componentes, proporciona los cuatro elementos básicos para la combustión directa: mezcla en el quemador del combustible (biogás), el comburente en la proporción necesaria (aire), temperatura suficiente para encender la mezcla de combustible y aire, y el tiempo de residencia necesario para que la combustión sea completa. La reacción de combustión se produce normalmente en exceso de oxígeno, alcanzando temperaturas entre 800-1100 °C. (Fig.17).

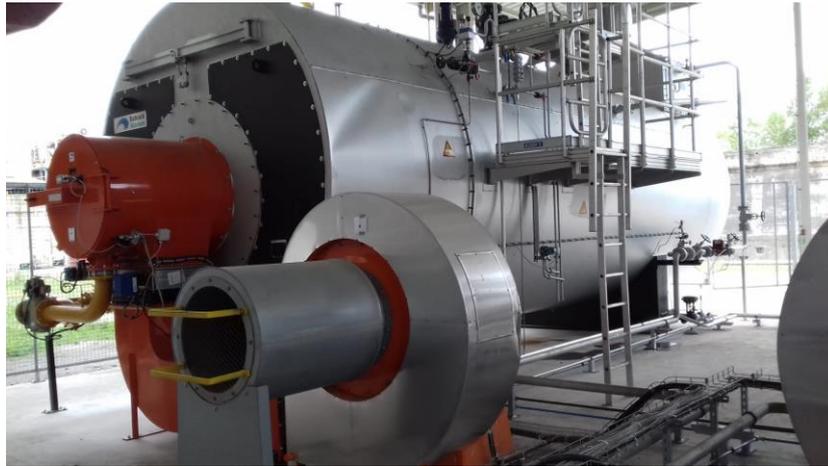


Figura 17: Caldera pirotubular, quemador y ventilador aire de combustión.  
Fuente: Elaboración propia.

Debido a que el biogás se genera naturalmente por la acción de los microorganismos, la presión del biogás a salida del digestor es realmente baja. Por ello previamente a su introducción en el quemador, la planta lleva instalado un turbocompresor para elevar la presión del biogás a la presión de trabajo, así como un sistema de filtrado y adecuación del biogás que evite arrastres de materia.

Este equipo, por lo tanto, estará orientado únicamente a mantener la temperatura del circuito cerrado de calentamiento del reactor biológico y para dar abastecer a pequeños servicios auxiliares de la planta. Con la energía térmica producida en la combustión del biogás, es suficiente para estabilizar la temperatura de proceso del digestor.

Este dispositivo tiene varios inconvenientes frente al motor de gas y a las microturbinas, ya que, generalmente, la producción de biogás es mayor de la que necesita la caldera para mantener la temperatura óptima del agua del circuito de calentamiento del digestor, por lo que se ajusta el caudal de entrada de biogás a ser quemado en la caldera y el excedente restante de biogás es desaprovechado quemándolo en la antorcha de la planta. Además, con este equipo en condiciones de equipamiento normal, no se puede realizar una generación de energía eléctrica para el autoconsumo de la planta, sino se introducen equipos auxiliares para la generación, como



una turbina de vapor, lo que aumentaría enormemente el coste de la instalación.

A su vez, tampoco es necesario llevar a cabo un aprovechamiento de la energía térmica residual de los gases de escape, puesto que no es necesaria para los servicios de la planta.

Se considera por tanto una opción poco rentable tanto económicamente, por el encarecimiento de la instalación, como técnicamente, ya que no se realiza un adecuado aprovechamiento y valorización energética del biogás.

### MOTOR ALTERNATIVO DE GAS

La valorización energética del biogás a través de la instalación de un grupo motor de gas-alternador, es una opción mucho más rentable desde el punto de vista técnico y económico.

El motor de gas funcionará bajo un ciclo Otto, en el que será necesario la actuación de una bujía, o elemento de ignición, de la mezcla de combustible y comburente. En el eje de salida del motor, irá acoplado un alternador con el que se generará energía eléctrica para el autoconsumo de la planta (Fig.18). Por otro lado, con un intercambiador de calor, se realizará un aprovechamiento térmico de la energía residual de los gases de escape del propio motor, con el fin de mantener la temperatura del circuito de calentamiento del reactor biológico.

En este caso se produce energía eléctrica para el autoconsumo y energía térmica para uso en servicios de la planta, aprovechando todo el caudal de salida del biogás del digestor, únicamente empleando el quemado en antorcha en caso de avería o parada de los motores por mantenimiento.



Figura 18: motor alternativo de biogás.

Fuente: Imagen obtenida de “MTU ONSITE ENERGY”.

Los inconvenientes surgidos con este tipo de equipos, son que, aunque puedan ajustarse a un régimen de carga, es complicado la modulación para adecuarse a la demanda eléctrica de la planta, el motor sale de su zona de trabajo o carga base y su rendimiento térmico y mecánico se ve francamente afectado.

Por otro lado, los costes de mantenimiento son mucho más elevados, puesto que tiene muchas partes móviles y de desgaste que son necesarias sustituir. El mantenimiento de la instalación puede encarecer el sistema. Esta instalación ocupa una gran área para su ubicación, por lo que en plantas en las que sea necesario un sistema compatible con la ausencia de espacio, es de difícil implantación.

Se considera una solución viable frente a la caldera de combustión directa, pues el aprovechamiento energético del biogás es mucho mayor, haciendo que aumente el rendimiento de la instalación.

### MICROTURBINA

El aprovechamiento energético del biogás a través de la instalación de un grupo microturbina-alternador, es la medida más rentable de los equipos presentados para la valorización energética del biogás.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”

Su función es convertir la energía química del biogás en energía eléctrica, a través del acoplamiento de un alternador en el eje de la máquina, y a su vez en energía térmica con la instalación de un módulo recuperador de la energía residual de los gases de exhaustación. Las microturbinas trabajan según el Ciclo Brayton regenerativo, es decir, se realiza un precalentamiento interno del aire comburente, empleando los gases de escape, previamente a ser introducido en la cámara de combustión, para mejorar el rendimiento eléctrico del conjunto.



Figura 19: microturbina de biogás.

Fuente: Imagen proporcionada por “MICROPOWER EUROPE”.

El uso de las microturbinas ofrece un gran número de ventajas, en comparación con las otras tecnologías de producción energética a pequeña escala, como pueden ser los motores de gas. Se destacan las siguientes:

- Menor número de partes móviles, únicamente el eje de la microturbina. Ello implica un bajo mantenimiento y, además, en algunos equipos no hay consumo de aceite lubricante.
- Reducido peso y dimensionamiento del equipo.



- Energía térmica recuperable en una sola corriente. A diferencia de los motores de gas, las turbinas de gas concentran el calor excedente en una sola corriente a alta temperatura, con lo que se simplifica la instalación. Los gases de escape de las microturbinas de gas son generalmente de alta calidad, dado que se encuentran a alta temperatura y libres de aceites.
- Rendimiento eléctrico similar a los motores de gas.
- Modulación de la potencia a través de la instalación de varios equipos, incluso de distinta potencia neta de generación, en función del caudal de entrada de biogás a la máquina, el cual produce el digestor, y de la producción energética necesaria.

Analizando los equipos citados anteriormente, la caldera de combustión directa queda descartada por su bajo aprovechamiento energético de los recursos. Los dispositivos más adecuados serán el motor de gas o la microturbina de gas.

El empleo de las microturbinas, se selecciona como la mejor opción para la valorización energética del biogás, en un sistema ideal para combinar con equipos de etapas de calentamiento para procesos sucesivos en la planta. Permite la modularidad de equipos, llevando las máquinas por debajo de su carga nominal y teniendo únicamente una pequeña reducción en su rendimiento. La eficiencia de estos sistemas puede ser muy elevada y, por lo tanto, muy atractiva para los casos en que, además de la demanda eléctrica, hay una demanda térmica en el proceso.

En la siguiente tabla (Tabla 1) se realiza una comparativa entre las dos mejores opciones para realizar la valorización energética del biogás:



Tabla 1: Ventajas e inconvenientes Motor de gas Vs Microturbina de gas.

Motor de gas		Microturbina de gas	
Ventajas	Inconvenientes	Ventajas	Inconvenientes
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción de energía eléctrica y térmica.</li> <li>- Tecnología muy desarrollada y fiable.</li> <li>- Eficiencia eléctrica elevada.</li> <li>- Generación de potencias eléctricas elevadas.</li> <li>- Menor inversión inicial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución de eficiencia debido al uso de biogás.</li> <li>- No permite modulación.</li> <li>- Coste del mantenimiento elevado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Producción de energía eléctrica y térmica.</li> <li>- Permite modulación de potencia.</li> <li>- Número menor de partes móviles.</li> <li>- Mantenimiento reducido.</li> <li>- No computan horas de mantenimiento en máquina parada.</li> <li>- Peso y dimensiones reducidas.</li> <li>- Energía térmica recuperable en una sola corriente.</li> <li>- Mayor control de los flujos de potencia aportados a la red.</li> <li>- Elevada eficiencia energética frente al combustible empleado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inversión inicial.</li> <li>- Arquitectura más compleja.</li> <li>- Necesidad de electrónica de potencia.</li> <li>- Necesidad de filtros tanto a la salida del rectificador, como del inversor.</li> <li>- Necesidad de lógica de control.</li> <li>- Mayores pérdidas por el uso de electrónica de potencia.</li> </ul>

### 1.3.5. MEJORES TÉCNICAS DISPONIBLES: BREF’S

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), por sus siglas en inglés “*Intergovernmental Panel on Climate Change*”, fue creado en 1988 conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Su finalidad es evaluar la información



científica, técnica y socioeconómica considerada como relevante por parte de la comunidad internacional, con el fin de determinar las acciones necesarias para poder afrontar el cambio climático generado por los seres humanos frente a las causas originarias.

Desde la creación del IPCC se han elaborado diferentes Informes de Evaluación sobre las causas del cambio climático, sus efectos potenciales, y las opciones o estrategias de respuesta, así como informes especiales, documentos técnicos, metodologías a seguir y directrices.

Las publicaciones del IPCC se han convertido en documentos de referencia, ampliamente utilizadas en el sector industrial, político y científico.

La lista de documentos de referencia contiene las Mejores Técnicas Disponibles (MTD), denominados Best Available Techniques (BAT) o Best Available Techniques Reference document (BREF), donde se reúnen las estrategias de respuesta en diferentes ámbitos contra el cambio climático.



*Figura 20: Mejores técnicas disponibles.*

*Fuente: Elaboración propia.*



En relación al enfoque planteado para el desarrollo de este proyecto, nos centraremos en el BAT o BREF “*Waste Treatments Industries*”, donde se especificarán las Mejores Técnicas Disponibles en lo referente a:

- “Techniques for the reduction of emissions when biogas is used as fuel”: Técnicas para reducir las emisiones cuando el biogás es empleado como combustible.
- “Increasing the energy efficiency of the electricity generators and anaerobic digestion systems”; Aumento de la eficiencia energética de los generadores de electricidad y sistemas de digestión anaerobia.

### 1.2.3 ¿QUÉ ES UNA MICROTURBINA DE GAS?

Las microturbinas de gas son máquinas de combustión interna de tamaño reducido, las cuales están basadas en el mismo principio constructivo y de funcionamiento que las turbinas convencionales, con la salvedad de que los elementos mecánicos, móviles y de desgaste se ven reducidos. Estos equipos se sitúan en una gama de potencia eléctrica neta desde 30 kW<sub>e</sub> hasta 200 kW<sub>e</sub>, existiendo paquetes de potencia con modulación de hasta 1000 kW<sub>e</sub>. (Fig.21).



Figura 21: Corte vista microturbina de gas.

Fuente: Imagen proporcionada por “MICROPOWER EUROPE”.



Las turbinas convencionales para la generación de energía disponen, generalmente, de varias etapas de compresión de aire, dando lugar al compresor, una cámara de combustión y varias etapas de turbinado, en las que se emplea la energía de los gases resultantes de la combustión para impartir movimiento rotativo al eje primario de la máquina. (Fig.22)



Figura 22: Turbina de gas convencional.

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, en las microturbinas, se simplifican todos estos elementos constructivos, empleándose únicamente un elemento móvil en toda la máquina. Esta pieza móvil se corresponde con el eje de rotación primario del equipo, el cual contiene la única etapa de compresora, la única etapa de turbinado y el acoplamiento para el eje del alternador. (Fig.23).



Figura 23: Ejes microturbinas de gas.

Fuente: Imagen proporcionada por “MICROPOWER EUROPE”.

Las turbinas de generación convencionales, las cuales pueden ser usadas en centrales de cogeneración o en aplicaciones del sector naval, tienen un régimen de funcionamiento a carga base de entre 15.000 y 20.000 rpm.



Para poder realizar el acoplamiento con el generador, se usa una reductora acoplada al eje de salida de la máquina, lo que ajusta las revoluciones del eje de salida de la reductora a la velocidad de sincronismo del alternador. Sin embargo, en las microturbinas, el conjunto móvil gira sobre unos cojinetes de aire que permiten alcanzar hasta las 96.000 rpm.

Con el fin de adaptar la corriente generada por estas máquinas a una corriente alterna de 50 o 60 Hz eficaz, se emplea la electrónica de potencia. Se genera la corriente alterna a frecuencia variable, la cual a través de un rectificador se transforma a corriente continua. Una vez se encuentra en corriente continua, mediante la ayuda de un inversor, se vuelve a transformar a corriente alterna modulando la onda en amplitud y periodo, consiguiendo una forma de onda fundamental. De este modo, las vueltas de la máquina son independientes de la frecuencia de la red y podemos decir que la máquina está permanentemente sincronizada.

Las microturbinas son unos equipos muy compactos (Fig.24), por lo que el espacio dedicado a su ubicación es reducido. Van instaladas en armarios de medidas estándar, con unas dimensiones medias de 762 x 1.956 x 2.438 mm. El peso medio del equipo, dependiendo de la potencia de la máquina, se encuentra en 1000 kg. Son de fácil transporte, ubicación y de uso versátil para distintos tipos de combustibles.



Figura 24: Módulo microturbina de gas.

Fuente: Imagen proporcionada por “MICROPOWER EUROPE”.



#### 1.2.4 MICROTURBINA DE GAS: ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

En referencia a la imagen adjunta (Fig.25), cedida por "MicropowerEurope", se realizará una breve descripción de los elementos constructivos básicos que forman parte de una microturbina de gas:

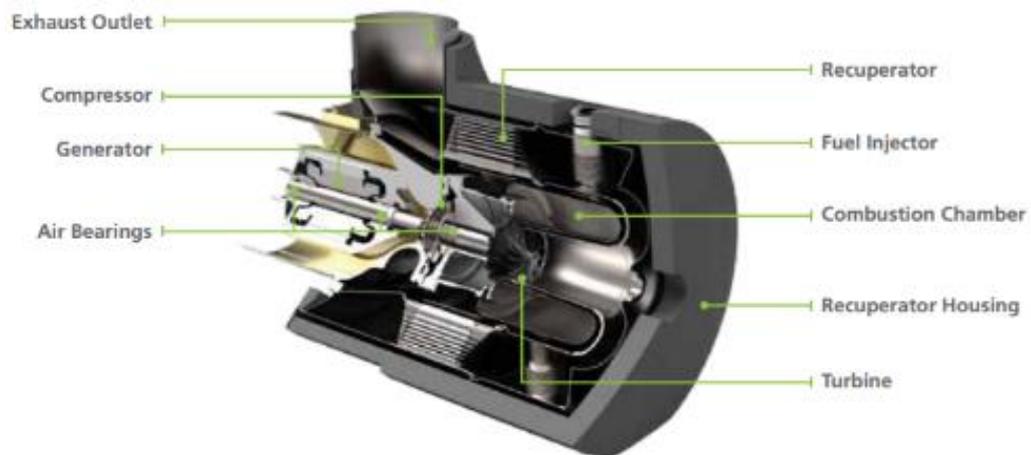


Figura 25: Elementos constructivos internos microturbina.

Fuente: Imagen proporcionada por "MICROPOWER EUROPE".

- Turbina (Turbine): la turbina está compuesta por una etapa de álabes móviles, solidaria al eje de la máquina en su extremo anterior. Esta turbina es accionada por el flujo de la corriente de gases de exhaustación, producidos en la valorización energética del biogás en la cámara de combustión.
- Compresor (Compressor): el compresor, al igual que la turbina, únicamente está formado por una etapa compresora. Dicha etapa es solidaria al eje de la máquina en su extremo posterior, en su ubicación previa al generador. El parámetro fundamental que lo define es la relación de compresión, relación entre la presión de salida del compresor y la de entrada.
- Generador (Generator): la microturbina está dotada de la implantación de un generador asíncrono ubicado en la parte posterior de la máquina. El propio eje de la máquina, al que son solidarios el compresor y la



turbina impartándole un par de giro, es el inductor del alternador. Este sistema de conexión asíncrona permite optimizar el régimen de giro de la máquina a cargas parciales y mantener la máquina en sincronismo con la red.

- Cojinetes de aire (Air Bearings): los cojinetes de aire permiten alcanzar a la máquina las grandes revoluciones de giro, en algunos casos cercanas a las 96.000 rpm. Estos cojinetes de aire también ejercen como sello en las denominadas zonas calientes, y en el eje de conducción primario.
- Cámara de combustión (Combustion Chamber): en ella se produce la entrada de combustible y del aire comburente, el cual ha sido previamente calentado en un recuperador por la corriente de gases de escape. La combustión se produce en varias cámaras, en dependencia del modelo, distribuidas de forma circular en la periferia de la parte anterior de la turbina.
- Inyector de combustible (Fuel Injector): el inyector de combustible se encarga de administrar el combustible necesario para la mezcla con el comburente a la cámara de combustión. Realiza la inyección de combustible a una presión y temperatura óptimas. En esta distribución están ubicados en la zona central de cada cámara de combustión.
- Recuperador de calor (Recuperator): el recuperador de calor empleará el calor residual de la corriente de gases de exhaustación de la turbina, para calentar el aire comburente de salida del compresor. Este aire ya se introducirá precalentado a la cámara de combustión, por lo que la cantidad de combustible empleada será menor.
- Salida de gases de escape (Exhaust Outlet): una vez la corriente de gases de escape atraviesa el recuperador, tienen descarga al siguiente



sistema de aprovechamiento del calor residual que todavía tienen los gases de escape, o son evacuados a la atmósfera.

- Carcasa del recuperador (Housing recuperator): el recuperador de calor posee una carcasa de protección, con diferentes subcapas compuestas de material aislante térmico, a modo de calorifugado, con el fin de garantizar una adecuada transferencia térmica entre los gases y no perder calor por conducción.

### 1.2.5 BASES DE FUNCIONAMIENTO DE LAS MICROTURBINAS

Las microturbinas de biogás trabajan según el Ciclo Brayton regenerativo (Fig.26). Mediante la regeneración en el sistema de turbinado, se puede aumentar la eficiencia del ciclo, empleando parte del calor residual que contienen los gases de escape de la turbina, para precalentar el aire a la salida del compresor, antes de su entrada a la cámara de combustión, lo que permite gastar menos combustible para llegar a la misma temperatura de ingreso a la máquina.

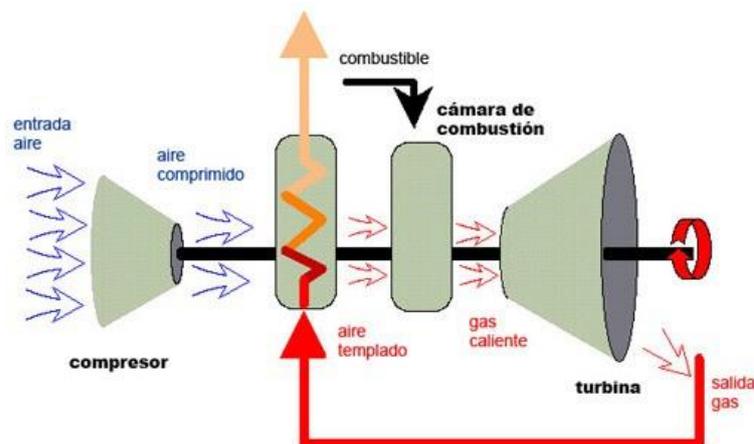


Figura 26: Diagrama de flujo ciclo Brayton regenerativo.

Fuente: Imagen proporcionada por “MICROPOWER EUROPE”.

A pesar de la reducción en la temperatura de los gases de escape al pasar por el recuperador de calor, todavía nos queda más del 50% de la potencia térmica del combustible en forma de calor aprovechable a aproximadamente de 280 °C a 300 °C.



Los parámetros fundamentales para definir el ciclo de la máquina (Fig.27) son: la relación de compresión, la temperatura de entrada del aire al compresor y la temperatura de entrada de los gases de escape a la turbina.

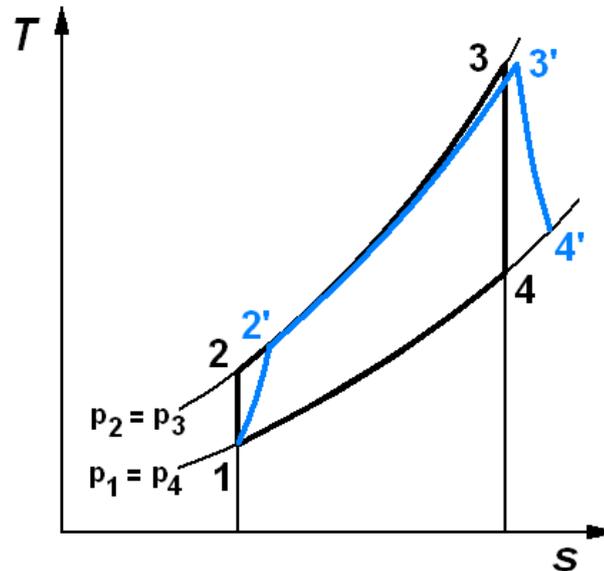


Figura 27: Diagrama T-S ciclo Brayton regenerativo.  
Fuente: Imagen proporcionada por "MICROPOWER EUROPE".

Por su simplicidad mecánica las microturbinas aceptan diferentes tipos de combustibles y, variando los inyectores y el programa electrónico, se consigue emplear biogás, generado como subproducto en estaciones depuradoras, con tan solo una concentración del 35% de metano.

El aire de alimentación y de refrigeración la máquina se obtendrá del ambiente, en el que, dependiendo del modelo, tendrá una conducción forzada o natural. El aire de alimentación para el ingreso en la cámara de combustión será filtrado previamente.

Las microturbinas generan electricidad en baja tensión 400 V y 50 Hz y lo hace a través de un inversor conmutado por la red eléctrica. Se genera corriente alterna a frecuencia variable, a través de un rectificador se transforma a corriente continua y mediante un inversor, se vuelve a convertir a corriente alterna a la frecuencia y tensión de la red (AC-DC-AC). De este modo, la máquina puede funcionar a velocidad variable,



comprendida entre 45.000 y 96.000 rpm, mientras mantiene el sincronismo. Este sistema de conexión asíncrona permite optimizar el régimen de giro de la máquina a cargas parciales y mantener la máquina en sincronismo con la red.

Las microturbinas deberán estar protegidas, para su propia seguridad, de cualquier falsa operación de tipo manual y de cualquier tipo de perturbación de la red. El sistema funcionará de forma automática y segura, limitando al máximo las intervenciones humanas. Para la correcta operación de las microturbinas, éstas dispondrán de una serie de servicios auxiliares, que se detallan en los apartados siguientes.

Por lo que se refiere a los elementos contaminantes, las microturbinas aceptan entre 5.000 y 70.000 ppmv de H<sub>2</sub>S, dependiendo del modelo. Estos valores deben de ser tenidos en cuenta si se realiza una recuperación térmica posterior, debido a las condensaciones ácidas que hay en los gases de escape. Las emisiones generadas por microturbinas regenerativas permiten reducir en torno a 1000 toneladas de CO<sub>2</sub> por GWh de energía eléctrica generada, comparado con la generación por separado de calor y electricidad en sistemas convencionales.

Las microturbinas, debido a su diseño y construcción, pueden operar con combustibles no convencionales, como el biogás, y permiten mantener una elevada eficiencia energética a cargas parciales. Esto se debe a la capacidad de mantener el 85% del rendimiento eléctrico cuando trabaja solo al 50% de su carga nominal. Debido a su funcionamiento puede ser empleada la modularidad, ya que supone instalar varias turbinas que pueden arrancar y parar en función de la cantidad de biogás producido o en función de la generación energética que sea necesaria. Realizando la equivalencia a los motores gas, estos no pueden mantener bajas cargas parciales sin verse afectado su rendimiento térmico y mecánico. Además, mediante la modularidad de equipos de microturbinado, se optimizan los costes de mantenimiento, debido a que los equipos parados no computan.



### 1.2.6 GENERACIÓN ELÉCTRICA EN MODELO AUTOCONSUMO

Se entiende por autoconsumo de energía eléctrica a la producción de electricidad para el consumo propio de la instalación en cuestión.

En las instalaciones que se encuentren aisladas, al no existir una conexión física con la red, todo el consumo eléctrico ha de ser abastecido con las instalaciones de generación. Sin embargo, en las instalaciones que se encuentran conectadas a la red, lo que se pretende es abastecer una parte del consumo eléctrico y, por tanto, adquirir menor cantidad de electricidad de la misma, minorando la factura eléctrica con la disminución del término de energía.

En nuestra instalación interesa el segundo modelo de autoconsumo, en el que la planta no está aislada de la red. Se considera que la energía producida por las microturbinas es una energía no consumida de la red, no llegando a la punta de consumo de la planta y existiendo una modulación en la producción.

Se considera dicho modelo de autoconsumo por dos razones principales:

- Se pretende generar energía de autoconsumo por debajo de la potencia máxima que necesita la planta para su funcionamiento normal, con motivo de no realizar un volcado de energía eléctrica a la red, ya que existe un impuesto de generación e inyección. La diferencia al consumo máximo de la planta, será absorbido de la red.
- En caso de producirse una avería en las máquinas generadoras o fuese necesario la parada por mantenimiento, el consumo eléctrico de la E.D.A.R será abastecido desde la red eléctrica.



La instalación a realizar en este proyecto es considerada como una planta de generación de electricidad para el autoconsumo, es por ello por lo que se rige bajo el RD 900/2015 en el cual se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo. Dentro de este RD, en el Título II-Artículo 4-Clasificación de Modalidades de Autoconsumo, la planta a instalar toma la modalidad de autoconsumo de Tipo 2, de tal forma que se acoge a todo lo estipulado y relacionado con respecto a la modalidad de autoconsumo establecida. Por otro lado, también se hace referencia a la Ley 24/2013 del 26 de diciembre, en la que se establece las bases del sector eléctrico y está directamente relacionado con el RD.

Se deben de tener en cuenta las modificaciones del Real Decreto enmendadas en el Real Decreto Ley 9/2013 del 12 de julio.

Bajo dicho RD, en el Capítulo I-Artículo 2, se establece el ámbito de aplicación categorizado en el punto 1.b del mismo en referencia al RD 661/2007. En él se establece que la instalación se corresponde con el grupo 7, subgrupo b7.2 para instalaciones que empleen como combustible principal el biogás generado en digestores.

En referencia a la normativa oficial, se deberán de solicitar las concesiones oportunas y autorizaciones pertinentes para la instalación. Estas serán:

- Todos los consumidores acogidos a cualquiera de las modalidades de autoconsumo de energía eléctrica, deberán solicitar la inscripción en el Registro Administrativo de Autoconsumo de Energía Eléctrica. Esta obligación no será de aplicación a las instalaciones aisladas.
- La instalación debe de inscribirse en el Registro PRETOR, donde se tienen en cuenta las instalaciones de generación de energía eléctrica. El PRETOR se conoce como “El código del Registro



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Administrativo de Instalaciones de Producción de Energía Eléctrica”, el cual es otorgado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

- Según el RD 900/2015 los contadores para la medida del autoconsumo, se ubicarán en el lado de Baja Tensión. Por lo que se debe de tener en cuenta la instalación eléctrica de baja tensión.
- Establecer punto de conexión a la Red de Distribución interna.
- Autorización Administrativa para la obra civil y autorización para la puesta en marcha.
- Se deben de tener en cuenta ordenanzas propias del ayuntamiento de Castro Urdiales.

En el caso de nuestro estudio, bajo el RD 661/2007 tiene como objeto el siguiente ámbito de aplicación:

- Categoría b: instalaciones que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa, o cualquier tipo de biocarburante, siempre y cuando su titular no realice actividades de producción en el régimen ordinario.
- Grupo b.7: centrales que utilicen como combustible principal biomasa procedente de estiércoles, biocombustibles o biogás procedente de la digestión anaerobia de residuos agrícolas y ganaderos, de residuos biodegradables de instalaciones industriales o de lodos de depuración de aguas residuales, así como el recuperado en los vertederos controlados, en los términos que figuran en el anexo II.
- Subgrupo b.7.2: instalaciones que empleen como combustible principal el biogás generado en digestores empleando alguno de los



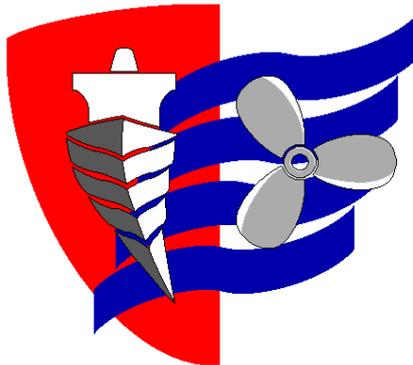
TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



siguientes residuos: residuos biodegradables industriales, lodos de depuradora de aguas urbanas o industriales, residuos sólidos urbanos, residuos ganaderos, agrícolas y otros para los cuales se aplique el proceso de digestión anaerobia, tanto individualmente como en co-digestión.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**PROYECTO EJECUTIVO**



## 2 PROYECTO EJECUTIVO

### 2.1. REGLAMENTACIÓN Y NORMATIVA APLICABLE

Para la redacción del presente proyecto, se han tomado en consideración las siguientes normativas en referencia al ámbito de aplicación de la instalación:

- Normativa Europea EN.
- Normativa UNE.
- Directiva CE, de conformidad europea.
- Reales decretos correspondientes al ámbito aplicable.
- Otras normas y reglamentaciones (ICG, SCIEI)

La instalación podrá ser considerada como una planta de generación de electricidad para autoconsumo, por lo que se atenderá a lo prescrito por el RD 900/2015 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.

Dentro de este RD, en el Título II-Artículo 4-Clasificación de Modalidades de Autoconsumo, la planta propuesta se clasifica en la modalidad de autoconsumo de Tipo 2.

Al tratarse de una planta de biogás de digestión anaerobia y ser de tener una potencia instalada de 130 kW de potencia, se conecta a la red bajo las especificaciones establecidas en el RD 1699/2011, por la cual se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia. También será de aplicación a las instalaciones de régimen ordinario y régimen especial de potencia no superior a 1000 kW de las tecnologías contempladas en la categoría a) y de los subgrupos b.6, b.7 y b.8 del artículo 2 del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo. Se deben tener en cuenta las modificaciones del Real Decreto enmendadas en el Real Decreto Ley 9/2013 del 12 de julio.



Bajo dicho RD, en el Capítulo I-Artículo 2, se establece el ámbito de aplicación categorizado en el punto 1.b del mismo en referencia al RD 661/2007. En él se establece que la instalación se corresponde con el grupo 7, subgrupo b7.2 para instalaciones que empleen como combustible principal el biogás generado en digestores.

- Marco legislativo electrotécnico

- Reglamentación de Baja Tensión:

- + Reglamento electrotécnico de baja tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias, aprobado por Real Decreto 842/2002 de 2/8.

- + Norma UNE EN 60079-10 clasificación de emplazamientos peligrosos.

- Reglamentación en referencia a los puntos de medida:

- + Real Decreto 1110/2007, de 24 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Unificado de Puntos de Medida del Sistema Eléctrico.

- + Orden de 12/4/1999 por la que se dictan las Instrucciones Técnicas Complementarias al Reglamento de puntos de medida de consumos y tránsitos de energía eléctrica.

- Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica mediante cogeneración o energías renovables.

- Real Decreto 1955/2000 relativo a 1/12 por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



- Real Decreto 198/2010, de 26 de febrero, por el que se adaptan determinadas disposiciones relativas al sector eléctrico a lo dispuesto en la Ley 25/2009, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio.

- Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre, por el que se regulan y modifican determinados aspectos de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial. (Teniendo en cuenta las partes derogadas por el RDL1/2012).

- 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.

- Real Decreto 900/2015, por el que se establecen las condiciones técnicas y económicas de las centrales de generación en red interior de un consumidor asociado para el autoconsumo de la electricidad producida y la venta de excedentes si se produjeran.

- Marco legislativo en relación a atmósferas explosivas

La directiva 94/9/EC hace referencia a dos normativas aplicables tanto para el fabricante como para el usuario del equipo:

- Real Decreto 400/1996 en referencia a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas [Trasposición de la Directiva 94/9/CE (ATEX-100)].

- Real Decreto 681/2003 relativo a la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de



atmósferas explosivas en el lugar de trabajo [Trasposición de la Directiva 99/92/CE (ATEX-137)]

- Distribución y utilización de combustibles gaseosos

Aplicación del 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 ITC-ICG 01 a 11.

- Seguridad contra incendios en establecimientos industriales

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 513/2017, de 22 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios.

### 2.1.1. ESPECIFICACIÓN NORMATIVA ATEX

La normativa ATEX, proveniente de la directiva 94/9/EC Francesa: Appareils destinés à être utilisés en **AT**mosphères **EX**plosives, es aplicada cuando hay existencia de posibles atmósferas explosivas, en donde se establece el tipo de equipamiento preventivo necesario y las características del ambiente de trabajo.

En condiciones atmosféricas se puede dar lugar a una fuga de biogás vaporizado o un riesgo de biogás ambiente, en donde en mezcla con el aire y un foco de ignición puede propagar la combustión a la mezcla aun sin quemar, produciendo una explosión. Se diferencian dos tipos de atmósferas ATEX:





- Atmósferas de gas explosivas.
- Atmósferas con polvo o fibras explosivas.

Con el fin de la Prevención de Riesgos en Atmósferas Explosivas, se hace referencia a tres normativas aplicables tanto para el fabricante como para el usuario del equipo:

- Real Decreto 400/1996 en referencia a los aparatos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas [Trasposición de la Directiva 94/9/CE (ATEX-100)].
- Real Decreto 681/2003 relativo a la protección de la salud y seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo [Trasposición de la Directiva 99/92/CE (ATEX-137)]
- La Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades para una adecuada protección de la salud de los trabajadores en el lugar de trabajo. (Art. 43 Ley 31/1995 LPRL)

### Zonas ATEX

En dependencia de la posibilidad de la presencia de una atmósfera explosiva, se establecen distintas zonas en las que se categoriza. En nuestro caso nos centraremos únicamente en las atmósferas de gases, vapores y niebla:

- Zona 1: lugar donde la presencia de gases, vapores o niebla es continua en periodos de tiempo prolongados y de manera frecuente.



- Zona 2: zona en la cual la presencia de gases, vapores o niebla son resultado de la operación normal del equipo o instalación.
- Zona 3: zona en la que la presencia de gases, vapores o niebla es de reducida probabilidad, no ocurriendo en la operación normal y si se produce será en periodos cortos.

En cuanto a los principios de seguridad:

- Se tratarán de disminuir las zonas de riesgo de explosión lo máximo posible, es decir se evitarán en la mayor medida las zonas 0.
- Disminución de equipos eléctricos en zonas establecidas de alta peligrosidad de atmósfera explosiva, pues pueden derivar en ser el foco caliente para producirse la combustión de la mezcla del biogás y la masa, en proporción, de aire ambiente.

En las atmósferas de gas explosivas, se realiza la siguiente clasificación de las sustancias:

Tabla 2: Clasificación de las sustancias en zona ATEX.

Sustancia	RD 400/96	UNE-EN60079-14
I Metano	I	I
IIA Propano IIB Etileno IIC Hidrógeno, Acetileno	II	II



### Categorización del equipo ATEX

De acuerdo a la normativa ATEX, existe una tabla (Tabla 3) proporcionada por ella, en la que se especifica y categoriza un equipo o pieza determinada de una instalación, con el fin de definir su idoneidad para poder ser usado en una atmósfera explosiva.

Tabla 3: Clasificación ATEX.

Tabla de clasificación ATEX

Grupo	Categoría de Equipo	Atmosfera	Diseño de seguridad	Temperatura (La superficie no excede los)
<b>II</b> Industria de la superficie	<b>1</b> Nivel de Muy Alta Protección (Zone 0, 1, 2 or 20, 21, 22)	<b>G</b> Atmosfera de Gas, Vapor o niebla	<b>c</b> (Conocido anteriormente como "machine norms" normas de máquina)	<b>T1</b> 842°F/450°C
<b>IM</b> Aplicaciones en Minería	<b>2</b> Nivel de Alta Protección (Zone 1, 2 or 21, 22)	<b>D</b> Atmosfera de polvo		<b>T2</b> 572°F/300°C
	<b>3</b> Nivel de Protección Normal (Zone 2 or 22)			<b>T3</b> 392°F/200°C
				<b>T4</b> 275°F/135°C
				<b>T5</b> 212°F/100°C
				<b>T6</b> 185°F/85°C

Equipos del Grupo IM: Para trabajos en minas o en las instalaciones exteriores donde se puedan producir atmósferas explosivas.

+ Categoría M 1: Nivel de protección muy alto.

+ Categoría M2: Nivel de protección alto

Equipos del Grupo I: Destinados al uso en otros lugares en los que puede haber peligro de formación de atmósferas explosivas.

+ Categoría 1: Nivel de protección muy alto. Aun fallando un medio de protección, existe otro que sigue manteniendo el nivel de protección.

+ Categoría 2: Alto nivel de protección.



+ Categoría 3: Nivel normal de protección.

### Equipos eléctricos

Los equipos eléctricos, también deberán de ser adecuados para las atmósferas explosivas, en donde su diseño debe de tener presentes. De esta forma ATEX establece diferentes modos de protección en dichos equipos:

- **d: envolvente antideflagrante:** El equipo eléctrico se encuentra en el interior de una envolvente capaz de resistir la explosión y de no transmitir el fuego al espacio circundante.
- **p: sobrepresión interna:** Las equipos o materiales eléctricos de la instalación, estarán provistos de una envolvente, o en su defecto estarán instalados en un recinto en el que se impida la entrada de los gases o vapores inflamables, manteniendo un espacio inerte no inflamable en su interior, con presión positiva.
- **q: relleno pulverulento:** Las partes bajo tensión del material eléctrico están completamente sumergidas en una masa de aislante pulverulento.
- **o: inmersión en aceite:** Mediante la inmersión en aceite del equipo eléctrico se evita la inflamación de los gases o vapores que se hallen por encima del nivel de aceite, así como en el exterior de la envolvente.
- **e: seguridad aumentada:** Con un aumento en la seguridad se tratan de evitar de forma más eficaz la formación de arcos eléctricos, chispas por malas conexiones o sobrecalentamientos de los equipos por baja disipación del calor. Para ello se toma un coeficiente de seguridad de diseño más alto, se emplearán bornes autoblocantes que eviten que se



desaprietan los terminales de conexión y se utilizarán materiales aislantes de primera calidad.

- **i: seguridad intrínseca:** Un equipo eléctrico se caracteriza por su seguridad intrínseca cuando no produzca chisporroteos o sobrecalentamientos suficientes para provocar la inflamación en una atmósfera de gas. Es conveniente para instrumentación, debido a que se emplean circuitos en baja tensión para reducir la intensidad empleada. También se tienen en cuenta los almacenamientos de energía en condensadores, cables e inductancias.
- **m: encapsulado:** Se emplea un encapsulado de resina para los equipos eléctricos, de tal forma que una atmósfera con gas no pueda ser inflamada.

Tabla 4: Métodos de protección.

Método de protección	Símbolo	Diagrama	Norma UNE-EN
Envolvente antideflagrante	d		60079-1
Sobrepresión interna	p		60079-2
Relleno pulverulento	q		60079-5
Inmersión en aceite	o		60079-6
Seguridad aumentada	e		60079-7
Seguridad intrínseca	i		60079-25
Encapsulado	m		60079-18

En referencia a las zonas de riesgo, se establecen los métodos más adecuados para la protección de equipos eléctricos.



Tabla 5: Zonas de riesgo.

Zona de riesgo	Modos más adecuados
Zona 0	i, a
Zona 1	d, e, ia, ib, m, o, p, q
Zona 2	n

### Certificación

En referencia a la certificación de los equipos que vayan a ser empleados en zonas de trabajo con riesgo de explosión, se empleará la nomenclatura ATEX de designación. Con dicha nomenclatura, se legitimará que el equipo cumple las condiciones de trabajo y se aportarán los datos básicos que nos permitirán conocer el grupo, el subgrupo, la categoría del equipo y el símbolo de uso. De la misma forma, los equipos eléctricos también poseen una certificación ATEX. A continuación, se detallan distintos tipos de certificación:

- Clasificación certificado equipo ATEX:

Tabla 6: Clasificación del certificado ATEX.

Título	Símbolo	Aplicación
ATEX		Certificación ATEX
Grupo del equipo	I	Aplicación industria minería
	II	Aplicación industria superficie



Título	Símbolo	Aplicación
Categoría	1	Nivel de protección muy alta (Zona 0, 1, 2 o 20, 21, 22)
	2	Nivel de alta protección (Zona 1, 2 o 21, 22)
	3	Nivel de protección estándar (Zona 2 o 22)
Atmósfera de gas o polvo	G	Atmósfera de gas, vapor o niebla
	D	Atmósfera de polvo
Modo de protección	d	Envolvente antideflagrante
	p	Sobrepresión interna
	q	Relleno pulverulento
	o	Inmersión en aceite
	e	Seguridad aumentada
	i	Seguridad intrínseca
	m	Encapsulado
Grupo de gases	I	I Metano

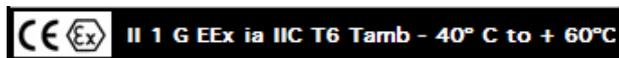


TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



Título	Símbolo	Aplicación
	II	IIA Propano IIB Etileno IIC Hidrógeno, Acetileno
Subgrupo de gas	A	Gases escasa inflamabilidad
	B	Gases inflamables
	C	Gases fácilmente inflamables
Rango de temperaturas	$\Delta T$	Temperaturas de trabajo
	T1	450 °C
	T2	300 °C
	T3	200 °C
	T4	135 °C
	T5	100 °C
	T6	85 °C

Certificado equipo eléctrico ATEX





Ejemplo certificado equipo eléctrico ATEX:



- **CE** En correspondencia a la directiva 89/106/CEE, es un requisito obligatorio donde se comercializarán los productos que cumplan la idoneidad para su uso.
- **Ex** Marca de certificación ATEX.
- II Grupo del equipo.
- 1 Categoría ATEX 1 (nivel de protección muy alta).
- G Atmósfera de gas.
- EEx Equipo sometido a pruebas, según norma Europea de empleo de equipos en atmósferas explosivas.
- ia: Métodos de protección: seguridad intrínseca.
- IIC Grupo de gases: Hidrógeno, Acetileno.
- T6: temperatura de trabajo
- Tamb: rango de temperaturas ambiente en la zona de trabajo.

Los fabricantes o proveedores de los equipos, deben de asegurar que sus productos cumplan con los requerimientos esenciales de seguridad sometiéndose a los procedimientos adecuados de conformidad ATEX.

Los equipos pueden ser certificados por empresas o por los propios fabricantes. La salvedad, es que ellos mismos pueden realizar una certificación del equipo de categoría 3 y equipo no eléctrico categoría 2. Se debe de incluir expedientes técnicos, planos, análisis de riesgos y manuales de usuario.

Tras ser certificado, el equipo se designa con la nomenclatura “CE” y el símbolo “EX” para identificarlo como aprobado bajo la normativa ATEX. El expediente técnico debe mantenerse por un periodo de 10 años.



## 2.2. PROMOTOR DEL ESTUDIO Y TITULAR DE LA PLANTA

La E.D.A.R ficticia que se ha planteado para el desarrollo de este proyecto, sería propiedad del Gobierno del Principado de Asturias- Consejería de Infraestructuras, Ordenación del Territorio y Medio Ambiente. Está ubicada en el Ayuntamiento de Llanes y es dependiente de la gestión de una empresa pública, quien se encarga de su explotación, del mantenimiento de la instalación y de la conservación de la misma. Esta empresa sería responsable directa de asegurar un adecuado tratamiento de las aguas residuales para su vertido a un cauce receptor.

El promotor del estudio técnico para el desarrollo de la instalación del equipo de valorización energética del biogás de la E.D.A.R, es la empresa pública contratada por el Gobierno del Principado de Asturias, quien se encarga de su gestión. Esta empresa será el cliente del actual proyecto. Dicha empresa, junto con el Gobierno de Asturias, se apoyan en la solicitud de la ayuda FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) como modo de financiación parcial para el anteproyecto, el proyecto ejecutivo y la instalación final del equipo propuesto.

## 2.3. INSTALACIÓN ACTUAL

La instalación propuesta de la E.D.A.R de Llanes, está diseñada para 40.000 habitantes equivalentes para un caudal anual de tratamiento aproximado de 2.500.000 m<sup>3</sup>/año. Esta planta está sobredimensionada y dará servicio a una media considera de 20.000 habitantes.

$$h.e = \frac{2.500.000 \frac{m^3}{año} \cdot 350 DBO_5 \frac{mg}{L}}{365 \frac{día}{año} \cdot 60 DBO_5 \frac{g}{día}} = 39.954,36 \approx 40.000 h. equivalentes$$

La Estación Depuradora está sobredimensionada con respecto a la densidad demográfica correspondiente a la villa, cuyo fin es absorber las variaciones en el caudal de las aguas residuales, en referencia a la



estacionalidad del tratamiento y al aumento o disminución de la población media.

Se trata de una E.D.A.R de tipo biológico, formada por dos líneas de tratamiento principales: la línea de agua y la línea de fangos.

En la imagen adjunta (Fig.28), se muestra una representación esquemática de la instalación, en la cual se determinan los tratamientos que ésta posee. En ella se puede observar las dos líneas de tratamiento diferenciadas, así como la distribución de la planta en la ubicación para su implantación.

En la línea de agua, sus instalaciones incluyen:

- Pretratamiento [1]: separación de grandes sólidos, desbaste y desarenado.
- Tratamiento secundario [2]: tratamiento biológico.
- Decantación secundaria [3].
- Tratamiento terciario [4]: eliminación de fósforo.

En la línea de fangos posee las siguientes instalaciones:

- Espesadores [5]: dos módulos espesadores de espesamiento mecánico.
- Digestor [6]: reactor biológico de mezcla completa sin recirculación.
- Gasómetro [7]: El biogás generado es acumulado en un gasómetro, con el fin de actuar como una reserva o tampón y así suministrar un caudal relativamente constante y regulado a las necesidades.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”

- Antorcha: antorcha para el quemado directo del caudal sobrante de biogás, el cual no ha sido empleado en la E.D.A.R.

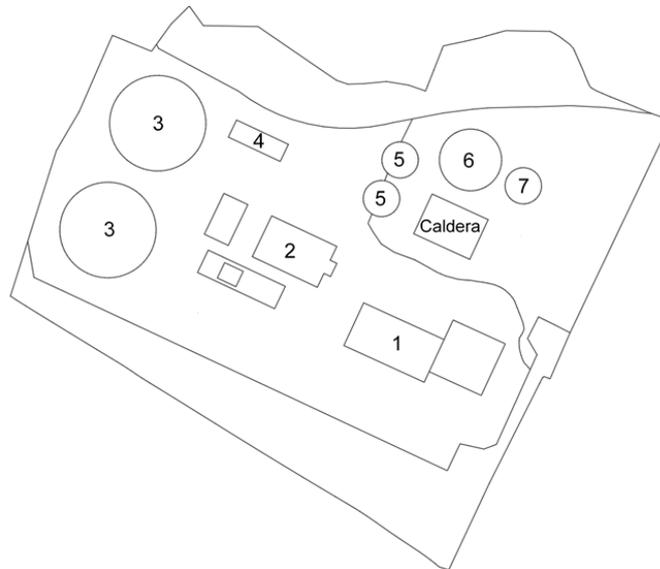


Figura 28: Representación esquemática de la instalación.

Fuente: Elaboración propia.

En la instalación actual está implantada una caldera de combustión directa, donde el biogás producido es empleado para su aprovechamiento térmico. La valorización energética de dicho biogás es únicamente aprovechada para calentar el circuito cerrado de agua de calefacción del digestor, manteniendo la temperatura en un proceso de digestión termofílico.

Esta caldera será mantenida en la planta y la nueva instalación del equipo de turbinado será implantada de forma paralela a este sistema, de forma que, si se produce un fallo o sea necesario realizar el mantenimiento en las microturbinas, la caldera pueda mantener la temperatura del digestor.

El aprovechamiento y la valorización energética de la instalación actual no están optimizados bajo el punto de vista del presente estado del arte, ni del criterio técnico, económico y ambiental. Todo el caudal de gas producido es quemado en la caldera, salvo los excedentes, que son quemados en la antorcha de la planta. Los gases de la combustión del biogás en la caldera, son expulsados a la atmósfera a una temperatura elevada, sin realizar ningún tipo de aprovechamiento o recuperación de la energía térmica



residual de los mismos.

Es por ello, por lo que se quiere incorporar ciertas mejoras a la instalación actual, con el fin de llevar a cabo un aprovechamiento y valorización energética mucho más eficientes.

## 2.4. EMPLAZAMIENTO DE LA E.D.A.R

La nueva instalación compuesta del equipo para la generación eléctrica en modelo autoconsumo y para el aprovechamiento térmico de calor residual, estará instalada en la Estación Depuradora de Aguas Residuales en Llanes, situada en la costa oriental de Asturias. El sistema formará parte de un proyecto de mejora de la planta, con el fin de aumentar y fomentar el uso de las energías renovables en infraestructuras de pequeña escala de régimen público.

Es de preciso interés conocer la localización exacta de la planta, puesto que las condiciones geográficas, climáticas y, en este caso, también medio ambientales pueden afectar al diseño y trabajo funcional del equipo.

Ubicación de la E.D.A.R (Fig.29):



Figura 29: Ubicación de la EDAR.

Fuente: Imagen obtenida de “Google Maps”.



Dicha localización tiene las siguientes características climáticas y geográficas:

- Llanes posee un clima atlántico considerado como húmedo, al estar próximo a la mar, el gradiente térmico día/noche se ve amortiguado, por lo que las temperaturas no tienen una variación brusca. El clima es templado, esto se refleja en veranos e inviernos suaves.
  - Temperatura: Se consideran unos valores característicos de temperatura de: 5 - 17 °C (mínima) y 13 - 26 °C (máxima).
  - Humedad relativa: 50-70% (elevada).
- Características geográficas:

Al encontrarse la EDAR colindante al mar, la cota o altura de la planta es significativamente reducida. Se encuentra a 44 m de altitud, influyendo este hecho en la presión atmosférica, la cual decrece por cada 10 m de elevación 1 mmHG. De este modo, la presión atmosférica de referencia es de 995 hPa.

## **2.5. ESTACIONALIDAD DEL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES**

La E.D.A.R objeto de estudio, es directamente dependiente de la estacionalidad en la que se realice el tratamiento de las aguas residuales y, a menor escala, de las variaciones horarias diarias.

El sobredimensionamiento de la instalación reside en la consideración de las variaciones del caudal de las aguas residuales, las cuales han sido consideradas en las oscilaciones diarias producidas y en las que se producen a lo largo de un año.



- Los vertidos generados en las pequeñas aglomeraciones urbanas presentan a lo largo del día fuertes oscilaciones, tanto de caudal como de carga contaminante. Para hacer frente a este hecho se precisa que las estaciones depuradoras presenten la suficiente capacidad de tratamiento, para que los rendimientos de depuración no se vean afectados. Es necesario el sobredimensionamiento a modo de “colchón” frente a las variaciones de caudal y de carga.

El carácter extensivo de los medios adecuados para el tratamiento y dimensionamiento de la planta, proporciona la posibilidad de tratar grandes volúmenes de aguas residuales.

De este modo, se determina que las tecnologías no convencionales están mejor adaptadas para soportar incidencias puntuales de vertidos anómalos a la red de saneamiento.

- En primavera y verano, la afluencia de turistas aumenta considerablemente el número total de habitantes de Llanes, desde la cifra base tomada de 20.000 habitantes. Dicho aumento se ve reflejado directamente en el caudal total de las aguas residuales a tratar. Las diferentes estaciones del año condicionan el caudal de admisión de la planta.
- Por otro lado, también es importante la consideración de la estacionalidad pluvial, combinada con la disminución de habitantes en las estaciones de otoño e invierno, lo que provoca que el influente a la planta aumente. Sin embargo, en este caso, el nivel de carga contaminante de las aguas es más reducido.

En estas situaciones de sobrecarga de la instalación, se presenta una contrapartida que no debe obviarse, ya que en el mismo modo en que estas plantas pueden adaptarse a dichas variaciones en las condiciones de operación, si se sobrepasa su capacidad nominal es muy complicado volver



a la normalidad de tratamiento, ya que se descompensan todos los ciclos de tratamiento biológico.

En tales casos de punta de tratamiento, las plantas disponen de emisarios denominados de tormenta con los que evacuan el caudal de aguas residuales que no pueden asimilar.

## 2.6. INFORMACIÓN Y CONSIDERACIONES DE PARTIDA

- Composición del Biogás

El biogás es una mezcla de hidrocarburos, el cual da lugar a un gas combustible. Este se genera mediante medios naturales o en unidades específicas de generación, como es el caso del desarrollo de este proyecto, en el que se emplea un reactor biológico.

El biogás es producido por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

El resultado final es una mezcla constituida por metano en una proporción que oscila entre un 50% y un 70% en volumen, dióxido de carbono, así como pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, ácido sulfhídrico y sulfuro de hidrógeno.

A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 7) de datos, se muestra la composición del biogás aportada por el cliente. En ella se puede comprobar las concentraciones de los agregados que dan lugar al biogás, así como su poder calorífico:



Tabla 7: Composición del biogás.

Composición	Método	Unid.	Resultado	Variación
Metano	ASTM D-1945/14	% mol	64,79	± 0,230
Etano	ASTM D-1945/15	% mol	<0,01	N.A.
Propano	ASTM D-1945/16	% mol	<0,01	N.A.
Isobutano	ASTM D-1945/17	% mol	<0,01	N.A.
N-Butano	ASTM D-1945/18	% mol	<0,01	N.A.
Isopentano	ASTM D-1945/19	% mol	<0,01	N.A.
N-Pentano	ASTM D-1945/20	% mol	<0,01	N.A.
C6+	ASTM D-1945/21	% mol	<0,01	N.A.
CO #	ASTM D-1945/22	% mol	<0,01	N.A.
CO 2	ASTM D-1945/23	% mol	35,14	± 0,06
Oxígeno #	ASTM D-1945/24	% mol	<0,01	N.A.
Nitrógeno	ASTM D-1945/25	% mol	<0,01	N.A.
Hidrógeno #	ASTM D-1945/26	% mol	<0,01	N.A.
SH2 #	Tubo de medida	ppm (mol)	700	N.A.
Humedad #	Tubo de medida	mg/l	8	N.A.
Densidad real #	UNE EN 6976/05	Kg/m3	1,159	± 0,0034
Poder Calor. Superior #	UNE EN 6976/06	Kcal/m3	6.192	± 50
Poder Calor. Inferior #	UNE EN 6976/07	Kcal/m3	5.567	± 50
Índice de Wobbe sup. #	UNE EN 6976/08	Kcal/m3	6.540	± 107
Gravedad específica #	UNE EN 6976/09	---	0,8966	N.A.
Amoniaco #	Tubo de medida	ppm (mol)	<5	N.A.
Benceno #	Tubo de medida	ppm (mol)	<2	N.A.
Humedad #	Cálculo	% v/v	41	N.A.

- Análisis de los costes energéticos

Tomando como base la información aportada por el cliente acerca del consumo eléctrico de la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Llanes, se ha realizado el estudio de los costes energéticos de la planta. A continuación, se adjunta la tabla de datos tomados como referencia para cálculo correspondientes a los años 2014, 2015, 2016 y 2017.



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



Fecha factura	Periodo de facturación		Tarifa acceso	Alquiler de Aparatos (€)	Impuesto eléctrico (€)	Energía Activa P1 (Kwh)	Energía Activa P2(Kwh)	Energía Activa P3(Kwh)	Total energía (KWh)	Energía Activa € P1	Energía Activa € P2	Energía Activa € P3	Total Ener Activa €	Potencia Contr, 1 (KW)	Potencia Contr, 2 (KW)	Potencia Contr, 3 (KW)	Potencia	Potencia Dem, 1 (KW)	Potencia Dem, 2 (KW)	Potencia Dem, 3 (KW)	Importe Término de potencia (€)	Base imponible (€)	IVA (21%)	Importe total
28/01/2014	18/12/2013	17/01/2014	3.1	30,58	438,25	12031	26448	32210	70689	1313,51	2601,56	2361,09	6276,16	320	320	320	2700,67	134	168	163	2295,58	9040,57	1898,52	<b>10.939,09</b>
26/02/2014	18/01/2014	18/02/2014	3.1	31,56	438,35	12435	26029	31544	70008	1360,56	2565,88	2316,65	6243,09	320	320	320	2742,02	122	127	128	2330,71	9043,71	1899,18	<b>10.942,89</b>
21/03/2014	19/02/2014	14/03/2014	3.1	23,67	336,78	10087	19790	22663	52540	1105,5	1954,12	1666,86	4726,48	320	320	320	2188,94	153	141	150	1860,60	6947,53	1458,98	<b>8.406,51</b>
28/04/2014	15/03/2014	15/04/2014	3.1	31,56	431,52	12192	24868	31141	68201	1336,21	2455,54	2290,42	6082,17	320	320	320	2774,19	144	144	141	2358,07	8903,32	1869,7	<b>10.773,02</b>
27/05/2014	16/04/2014	19/05/2014	3.1	33,53	461,94	12368	26104	33532	72004	1355,5	2577,59	2466,28	6399,37	320	320	320	3101,01	128	138	126	2635,86	9530,70	2001,45	<b>11.532,15</b>
24/06/2014	20/05/2014	16/06/2014	3.1	27,62	377,7	10190	20692	25417,1	56299,1	1116,8	2043,19	1869,43	5029,42	320	320	320	2774,19	138	138	144	2358,07	7792,81	1636,49	<b>9.429,30</b>
22/07/2014	17/06/2014	15/07/2014	3.1	28,6	459,36	14385	27152	31465	73002	1588,64	2699,26	2338,79	6626,69	320	320	320	2774,19	140	149	140	2358,07	9472,72	1989,27	<b>11.461,99</b>
28/08/2014	16/07/2014	20/08/2014	3.1	35,51	699,37	24369	44443	50837	119649	2691,24	4418,21	3778,71	10888,2	320	320	320	3283,42	204	207	205	2790,91	14413,95	3026,93	<b>17.440,88</b>
23/09/2014	21/08/2014	16/09/2014	3.1	26,63	542,53	18947	33922	37518	90387	2092,45	3372,29	2788,71	8253,45	320	320	320	2774,19	215	212	204	2358,07	11180,68	2347,94	<b>13.528,62</b>
23/10/2014	17/09/2014	17/10/2014	3.1	30,58	479,94	15730	29387	31892	77009	1737,17	2921,45	2370,53	7029,15	320	320	320	2774,19	212	209	191	2358,07	9897,74	2078,53	<b>11.976,27</b>
04/12/2014	18/10/2014	18/11/2014	3.1	31,56	543,01	15984	34715	40984	91683	1765,23	3451,12	3046,34	8262,69	320	320	320	2774,19	181	172	166	2358,07	11195,33	2351,02	<b>13.546,35</b>
26/12/2014	19/11/2014	15/12/2014	3.1	26,63	423,23	11668	23913	30326	65907	1288,58	2377,26	2254,13	5919,97	320	320	320	2774,19	178	184	178	2358,07	8727,90	1832,86	<b>10.560,76</b>
28/01/2015	16/12/2014	20/01/2015	3.1	35,51	558,08	15268	33007	41011	89286	1704,89	3321,73	3098,06	8124,68	320	320	320	3283,42	154	157	154	2790,90	11509,17	2416,93	<b>13.926,10</b>
26/02/2015	21/01/2015	17/02/2015	3.1	27,62	442,38	12542	25107	30459	68108	1412,81	2551,27	2330,48	6294,56	320	320	320	2774,19	138	160	155	2358,07	9122,63	1915,75	<b>11.038,38</b>
27/05/2015	23/04/2015	20/05/2015	3.1	27,62	1053,7	39937	80714	97563	218214	4254,69	7502,45	6494,28	18251,4	320	320	320	2774,19	157	152	150	2358,07	21690,81	4555,07	<b>26.245,88</b>
23/06/2015	21/05/2015	17/06/2015	3.1	27,62	461,87	15109	29247	35268	79624	1609,64	2718,54	2347,61	6675,79	320	320	320	2774,19	159	159	152	2358,07	9523,35	1999,9	<b>11.523,25</b>
27/07/2015	18/06/2015	09/07/2015	3.1	21,7	406,59	14147	27359	32899	74405	1508,44	2544,93	2193,7	6247,07	320	320	320	2006,53	179	181	179	1705,55	8380,91	1759,99	<b>10.140,90</b>
24/08/2015	21/07/2015	17/08/2015	3.1	27,62	408,56	13645	28370,1	35134	77149,1	1407,3	2586,66	2348,57	6342,53	160	160	320	1498,66	173	173	173	1648,55	8427,26	1769,72	<b>10.196,98</b>
30/09/2015	27/08/2015	21/09/2015	3.1	25,64	357,16	12637	25084	30651	68372	1273,75	2255,53	2048,9	5578,18	215	215	320	1655,85	139	142	138	1407,47	7368,45	1547,37	<b>8.915,82</b>
23/11/2015	21/10/2015	17/11/2015	3.1	27,62	377,53	12559	26101	31786	70446	1265,88	2346,98	2124,77	5737,63	215	215	320	1937,12	122	126	124	1646,55	7789,33	1635,76	<b>9.425,09</b>
27/10/2015	22/09/2015	20/10/2015	3.1	28,6	371,3	11601	25237	32570	69408	1169,32	2269,29	2177,17	5615,78	215	215	320	1937,12	169	162	133	1646,55	7662,23	1609,07	<b>9.271,30</b>
23/12/2015	18/11/2015	14/12/2015	3.1	26,63	315,52	9764	20341	25604	55709	984,16	1829,04	1711,52	4524,72	215	215	320	1937,12	126	137	125	1646,55	6513,42	1367,82	<b>7.881,24</b>
27/01/2016	15/12/2015	21/01/2016	3.1	37,48	526,18	17714	36876,1	47536	102126,1	1766,36	3294,27	3177,01	8237,64	215	215	320	2416,43	141	141	139	2053,96	10855,26	2279,6	<b>13.134,86</b>
22/02/2016	22/01/2016	17/02/2016	3.1	26,63	372,24	12385	25941	31499	69825	1224,15	2305,12	2104,89	5634,16	215	215	320	1937,12	156	180	155	1646,55	7679,58	1612,71	<b>9.292,29</b>
23/03/2016	18/02/2016	16/03/2016	3.1	27,62	385,45	13945	27972	30357	72274	1378,34	2485,59	2028,58	5892,51	215	215	320	1937,12	172	167	161	1646,55	7952,13	1669,95	<b>9.622,08</b>
28/06/2016	19/05/2016	21/06/2016	3.1	33,53	1232,72	52723	102167	119503	274393	5211,19	9078,56	7985,67	22275,4	215	215	320	2159,42	157	156	156	1835,51	25377,18	5329,21	<b>30.706,39</b>
20/07/2016	22/06/2016	14/07/2016	3.1	22,68	329,7	13618	24039	25813	63470	1346,02	2136,11	1724,93	5207,06	215	215	320	1460,78	162	162	161	1241,67	6801,11	1428,23	<b>8.229,34</b>
23/09/2016	17/08/2016	20/09/2016	3.1	34,52	852,88	34548	66447	81880	182875	3414,76	5904,48	5471,55	14790,8	215	215	320	2222,92	183	172	161	1890,89	17569,08	3689,51	<b>21.258,59</b>
28/10/2016	21/09/2016	25/10/2016	3.1	34,52	474,24	16676	33491	40971	91138	1648,27	2976,01	2737,85	7362,13	215	215	320	2222,92	187	168	168	1913,53	9784,42	2054,73	<b>11.839,15</b>
28/11/2016	26/10/2016	22/11/2016	3.1	26,7	334,18	10246	22940	27512	60698	1012,72	2038,45	1838,46	4889,63	215	215	320	1937,12	165	165	167	1646,55	6897,06	1448,38	<b>8.345,44</b>
28/12/2016	23/11/2016	23/12/2016	3.1	29,56	379,28	12394	26481	32829	71704	1225,04	2353,1	2193,77	5771,91	215	215	320	1937,12	150	142	150	1646,55	7827,30	1643,73	<b>9.471,03</b>
23/01/2017	24/12/2016	19/01/2017	3.1	25,75	340,73	11280	23029	27783	62092	1114,93	2046,36	1856,58	5017,87	215	215	320	1937,13	155	158	153	1646,56	7030,91	1476,49	<b>8.507,40</b>
23/02/2017	20/01/2017	20/02/2017	3.1	30,51	400,42	13525	28484	34678	76687	1336,82	2531,09	2317,32	6185,23	215	215	320	1937,12	179	178	131	1646,55	8262,71	1735,17	<b>9.997,88</b>
22/03/2017	21/02/2017	16/03/2017	3.1	22,88	287,8	10189	19938	23212	53339	1007,09	1771,69	1551,12	4329,9	215	215	320	1528,47	179	178	131	1299,20	5939,78	1247,35	<b>7.187,13</b>
24/04/2017	17/03/2017	20/04/2017	3.1	33,37	398,28	13606	27338	31745	72689	1344,83	2429,25	2121,33	5895,41	215	215	320	2229,02	129	144	151	1894,67	8221,73	1726,56	<b>9.948,29</b>
23/05/2017	21/04/2017	16/05/2017	3.1	25,64	314,26	10129	20940	28094	59163	1001,16	1860,73	1877,35	4739,24	215	215	320	1655,85	143	146	132	1407,47	6486,61	1362,19	<b>7.848,80</b>
26/06/2017	17/05/2017	21/06/2017	3.1	35,51	388,77	13600	25625	30438	69663	1344,24	2277,04	2033,99	5655,27	215	215	320	2292,7	168	163	139	1948,80	8028,35	1685,95	<b>9.714,30</b>
01/08/2017	22/06/2017	18/07/2017	3.1	25,74	371,54	13065	25711	30595	69371	1291,36	2284,68	2044,48	5620,52	215	215	320	1937,12	152	150	146	1646,55	7664,35	1609,51	<b>9.273,86</b>
24/08/2017	19/07/2017	18/08/2017	3.1	29,56	390,95	13979	26883	33364	74226	1381,7	2388,82	2229,52	6000,04	215	215	320	1937,12	180	178	176	1646,55	8067,10	1694,09	<b>9.761,19</b>



La planta tiene contratada una tarifa de acceso de Alta Tensión (AT) del tipo 3.1 A. Esta engloba aquellos suministros cuya potencia contratada es igual o inferior a 450 kW. Posee tres periodos en el término de energía y también en el de potencia, los cuales se regulan de acuerdo a los siguientes horarios:

Tabla 8: Horarios tarifa tipo 3.1 A.

Zona	Invierno			Verano		
	Punta	Llano	Valle	Punta	Llano	Valle
1	18-22	8-18 22-24	0-8	9-13	8-9 13-24	0-8

1) Analizando los datos provistos, se realiza el estudio de la energía activa y su coste, obteniendo las tablas y gráficas de datos enumeradas a continuación:

- Total energía activa consumida anualmente (kWh/año).

Tabla 9: Total energía activa consumida anualmente.

Año	Energía (kWh/año)	Observaciones
2014	907.378,10	
2015	931.746,10	
2016	988.503,10	
2017	802.300	11 meses

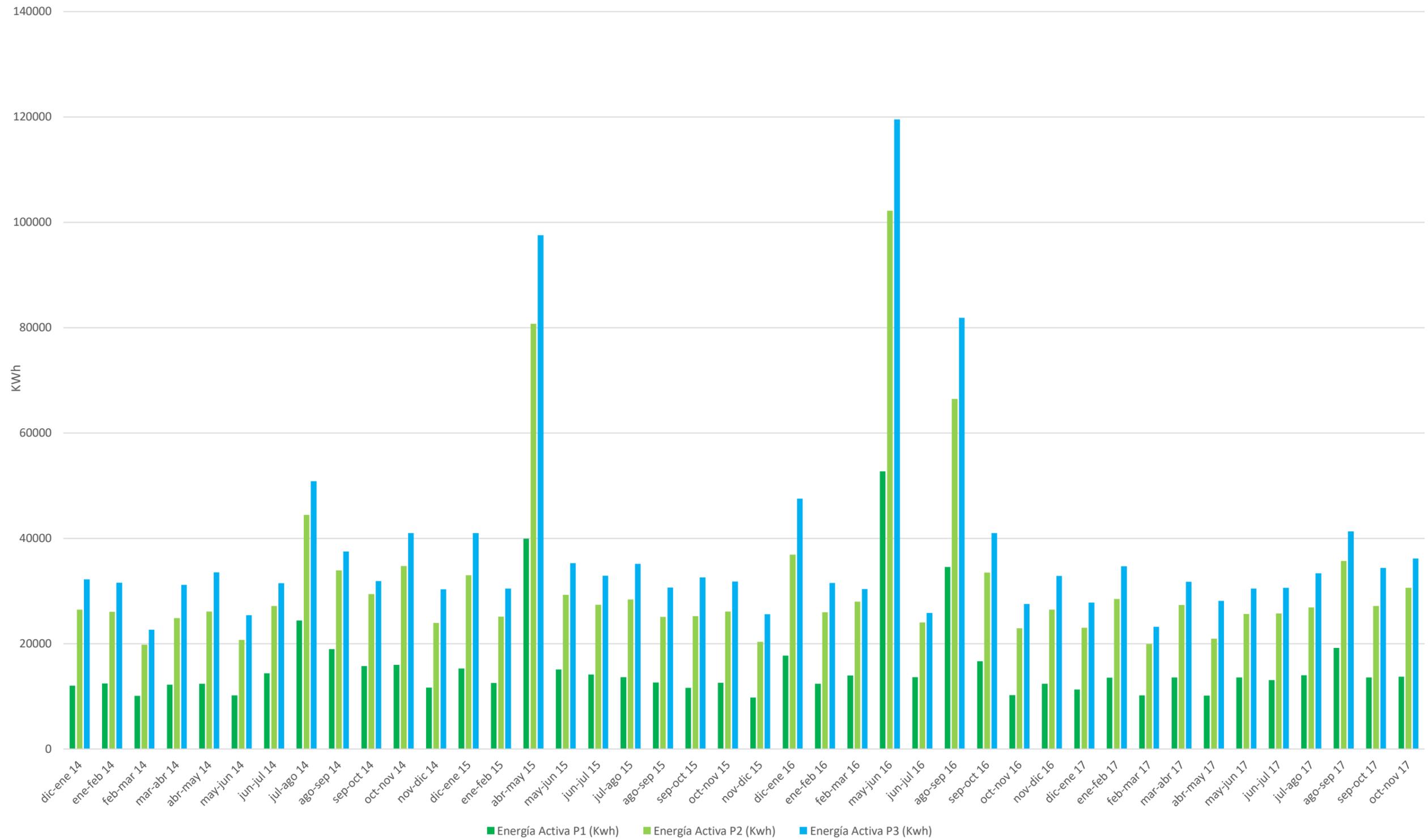
- Energía activa por periodos (kWh).
- Total energía activa (kWh).
- Precio energía activa por periodos (€/kWh).
- Precio energía activa total (€/kWh).

2) Estudio de la potencia contratada y demandada:

- Potencia contratada (kW).
- Potencia demandada (kW).



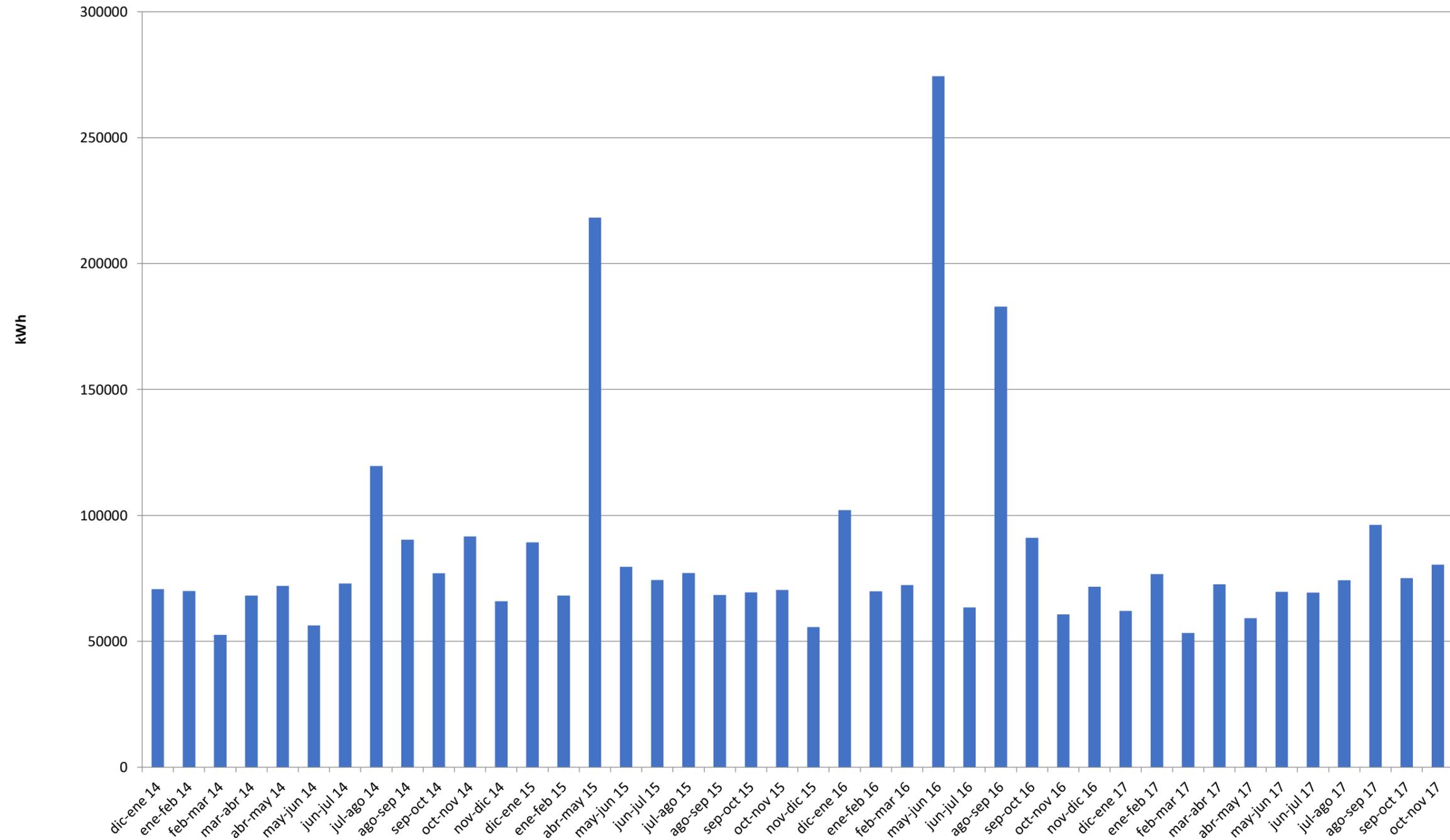
- Energía activa por periodos (kWh)





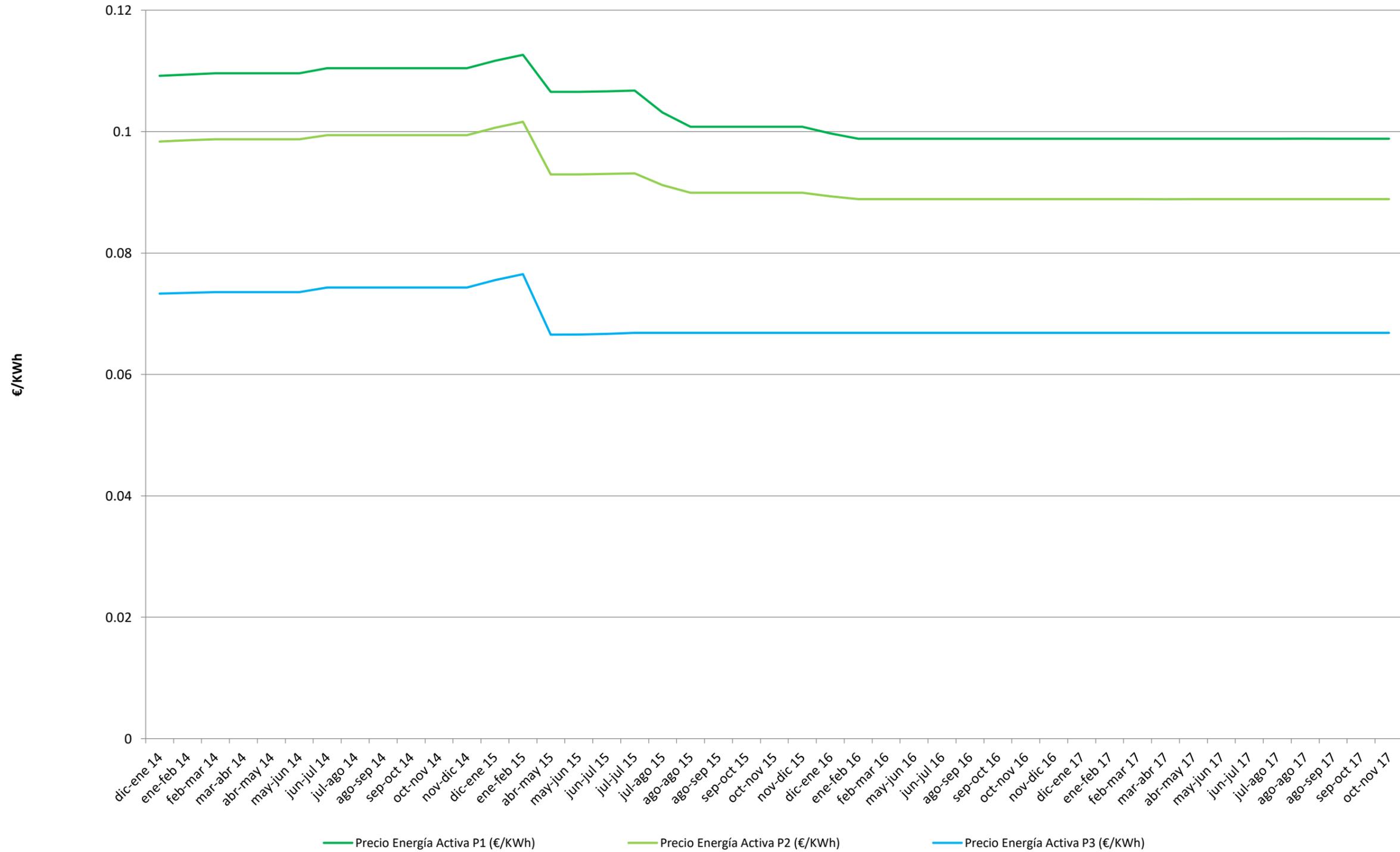
- Total energía activa (kWh)

Total energía Activa (kWh)





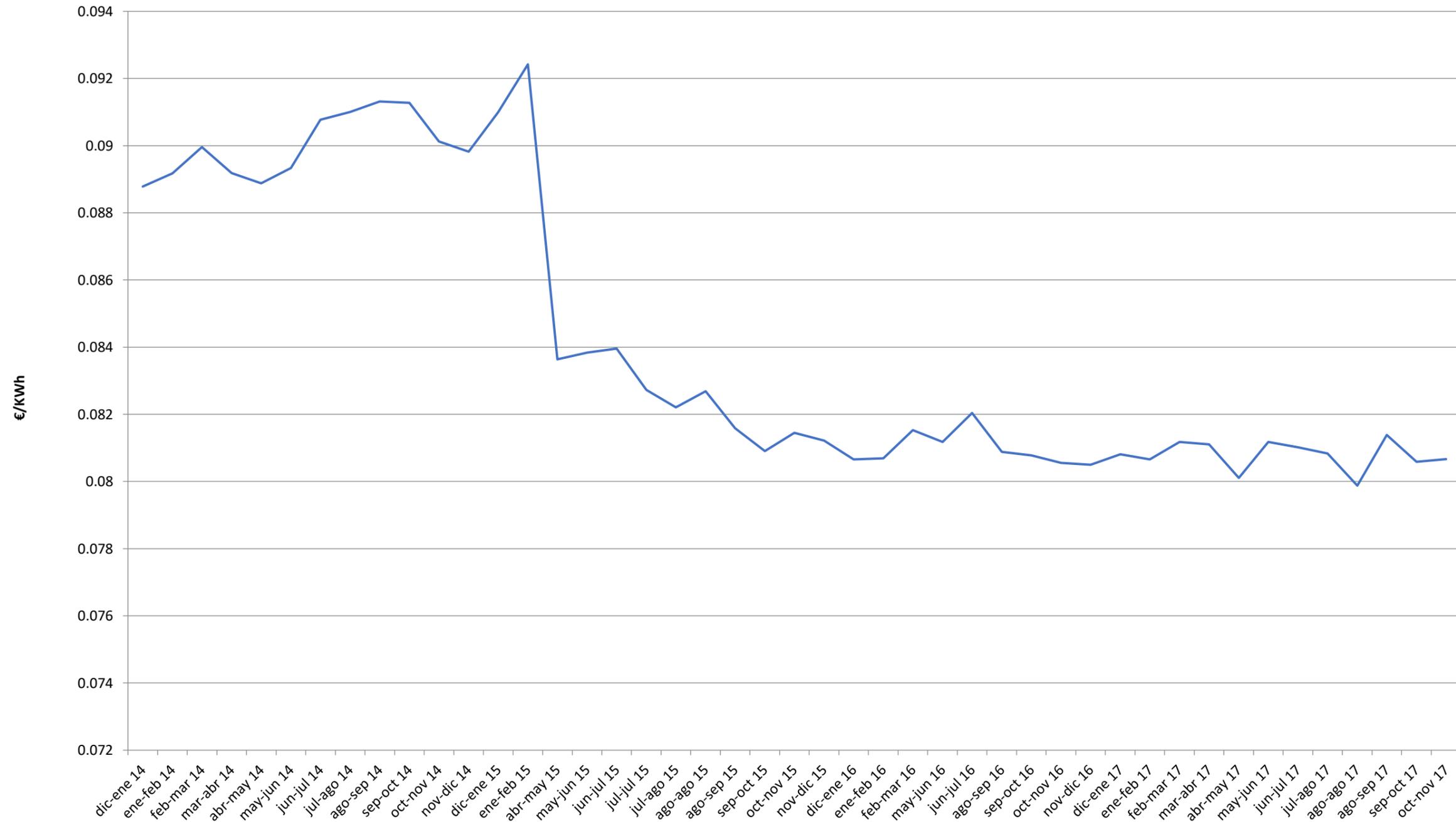
- Precio energía activa por periodos (€/kWh)





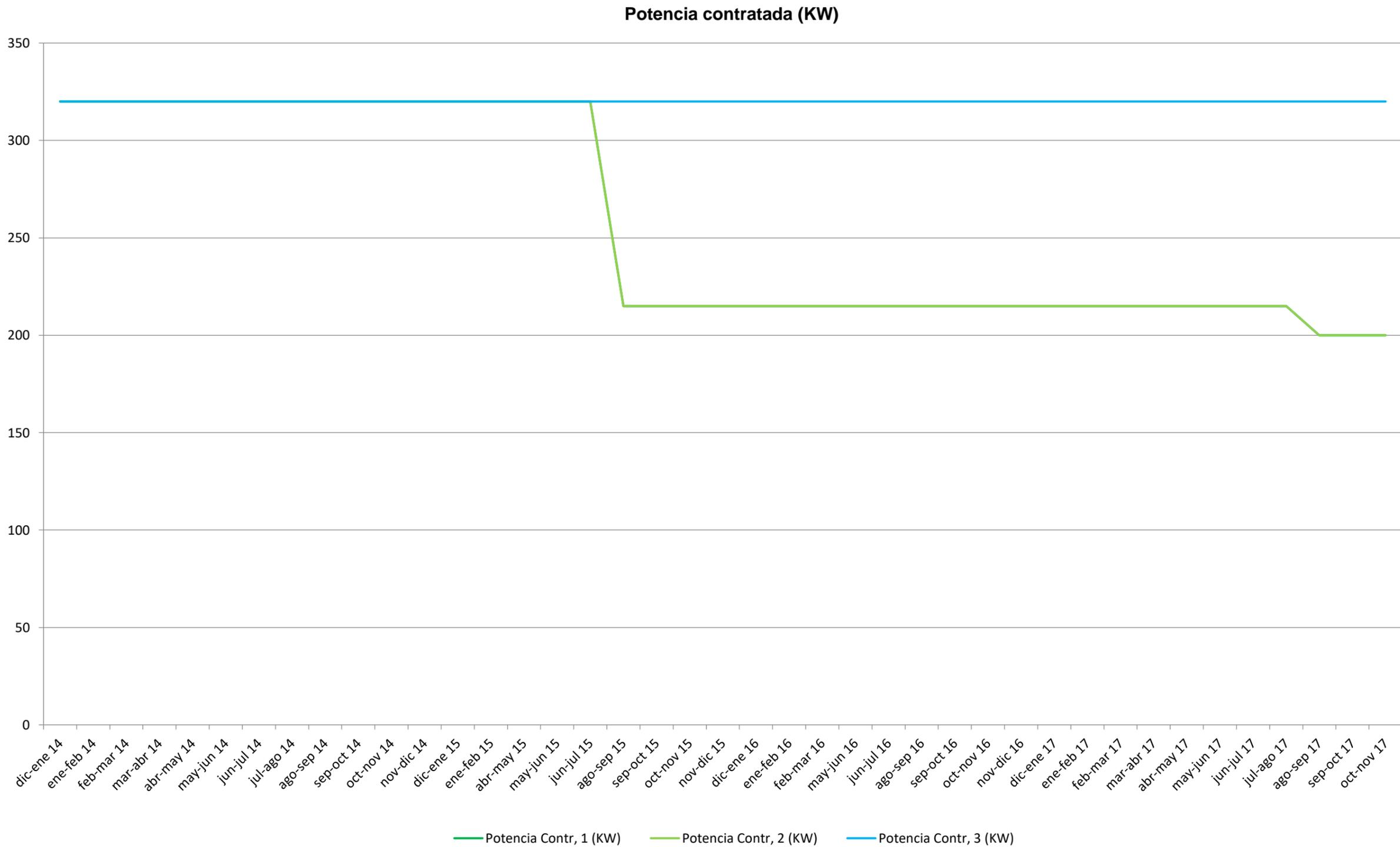
- Precio energía activa total (€/kWh)

Precio Energía Activa Total (€/KWh)



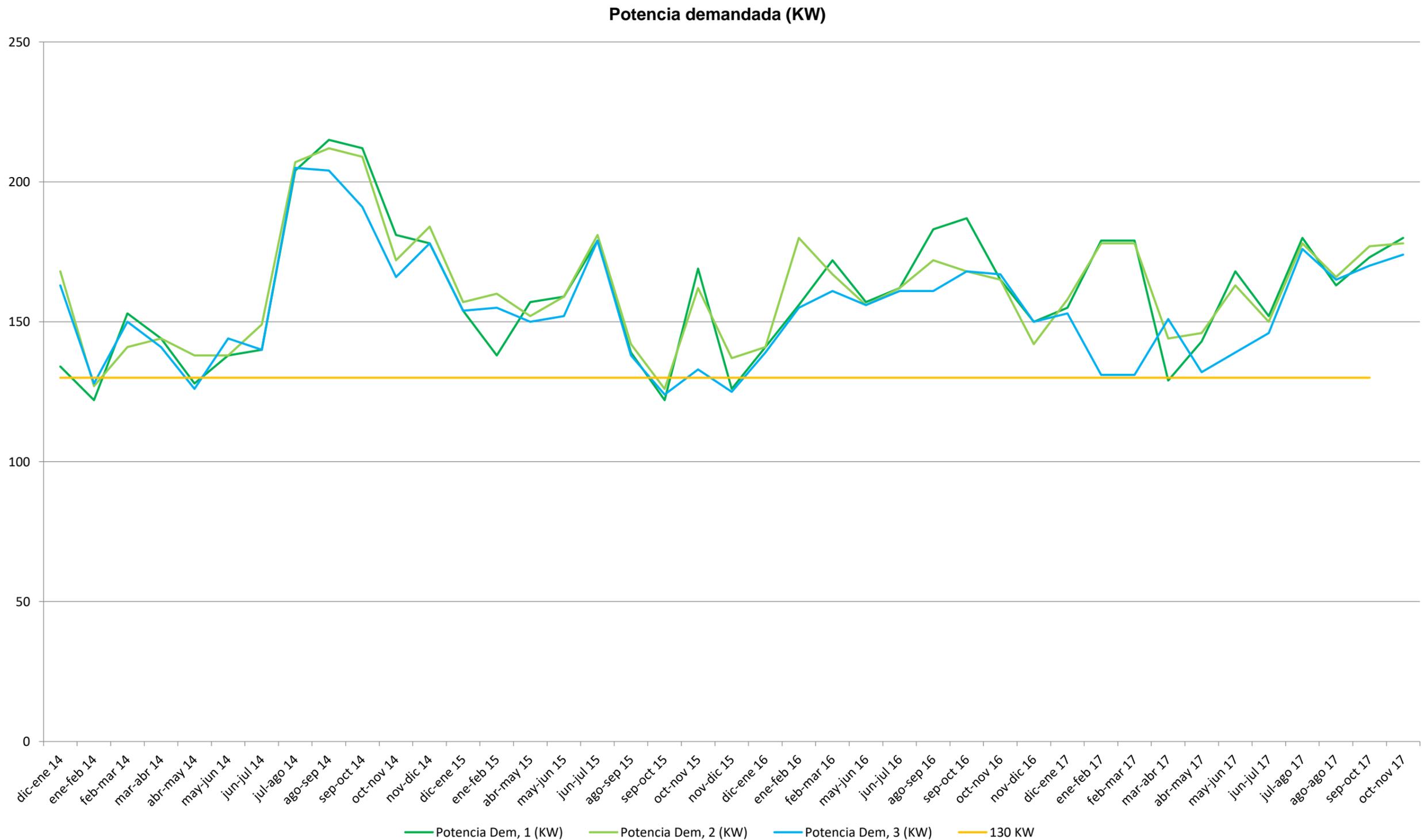


- Potencia contratada (kW)





- Potencia demandada (kW)





De acuerdo al análisis de las facturas de los años 2014, 2015, 2016 y 2017 se calcula finalmente una media con el fin de estimar el coste del kWh:

Tabla 10: Precio energía.

Precio medio E.Activa P1 (€)	Precio medio E.Activa P2 (€)	Precio medio E.Activa P3 (€)
0,103422521	0,092666461	0,069111682
Precio medio E. Activa total (€)		
0,084121981		

- Horarios de funcionamiento de la E.D.A.R

La estación depuradora de aguas residuales de Llanes, está diseñada para permanecer en funcionamiento normal durante 24 horas al día y 365 días al año.

Con motivo de tener en cuenta los fenómenos adversos en el funcionamiento normal de la planta de la planta, se establece un periodo de funcionamiento adicional. En dicho periodo quedarán incluidas las paradas de la planta por daños en la instalación o mantenimientos programados de los equipos e instalaciones. Por dichos motivos se establece un rango adicional de funcionamiento inferior de 8 horas diarias durante 285 días al año.

- Otras consideraciones de partida

- Se estima un valor de referencia de producción actual de biogás de 80 Nm<sup>3</sup>/h.
- Se precisa de una concentración > 35 % de CH<sub>4</sub> y < 5000 ppm de H<sub>2</sub>S para poder ser empleado como combustible en la microturbina.
- El valor empleado del PCI para los cálculos del estudio es de 5.567 Kcal/m<sup>3</sup> (6,47 kWh / Nm<sup>3</sup>).



## 2.7. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS

Se optará por una selección de equipos suministrada por el fabricante de microturbinas y de sus sistemas de tratamiento auxiliar "Capstone Turbine Corporation", a través de uno de sus distribuidores a nivel global, "Micropower Europe S.L".

"Micropower Europe S.L", en conjunto con el desarrollo de este proyecto, ha permitido el uso de su documentación y diagramas de sus sistemas.

El equipo propuesto a instalar en la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Llanes, consta de una unidad de tratamiento de biogás (UTB), una microturbina (MT) y un módulo de aprovechamiento térmico (HRM- Heat Recovery Module).

- Unidad de tratamiento del biogás (UTB): La unidad de tratamiento de biogás es un sistema completo de limpieza de biogás de componentes orgánicos volátiles, incluyendo todas las familias de siloxanos. Es la unidad dedicada a la adecuación del biogás procedente del digestor, formado en su mayor proporción por metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), pero que también incluye en su composición otros gases, tales como vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ).

Como se puede observar en la imagen adjunta (Fig.30), este módulo está compuesto por los siguientes elementos en orden de tratamiento, desde la entrada del biogás procedente del digestor, hasta su llegada a la microturbina:

- Un separador líquido/gas con unidad posterior de filtrado: mediante el separador se eliminan los posibles arrastres de agua que puede llevar consigo el biogás, los cuales condensan y son purgados por un drenaje. Posteriormente lleva incorporado un filtro para



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"

eliminar arrastre de partículas, con el fin de introducirlo en las calidades necesarias a la unidad compresora.

- Una unidad de compresión: La presión de entrada a la MT debe ser de 6 bar y dado que en el gasómetro la presión del biogás es de 0,02 bar es necesario emplear un compresor de biogás.
- Una unidad frigorífica de secado: secado del biogás comprimido a 6 bar, mediante el empleo de una unidad enfriadora.
- Unidad de filtrado: filtrado de biogás mediante el empleo de un filtro de carbón activo y grafito activos.
- Intercambiadores de calor: inserción adicional de intercambiadores de calor biogás/agua para reducir el contenido de humedad del biogás.

Con la unidad de tratamiento del biogás se busca adecuar la calidad del biogás para su óptimo aprovechamiento y valorización energética mediante su combustión en la microturbina.

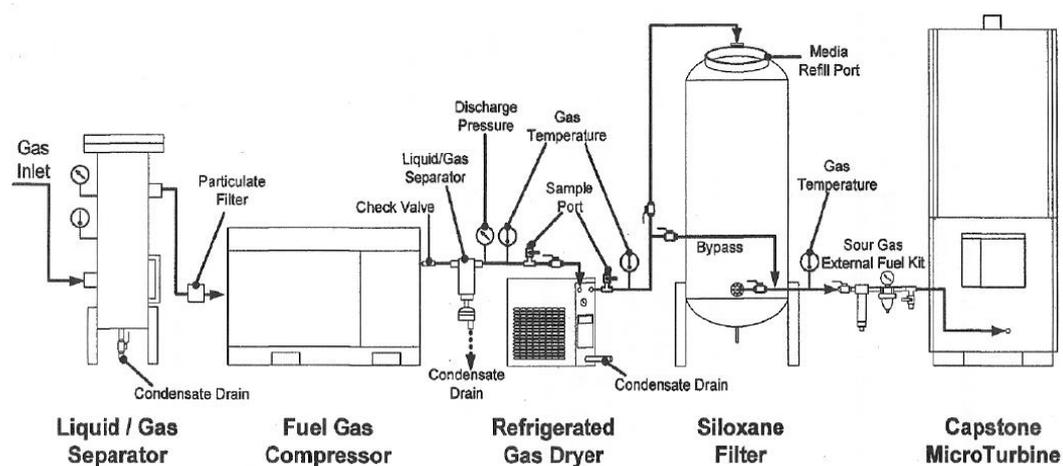


Figura 30: Unidad de tratamiento de biogás.

Fuente: Imagen proporcionada por "MICROPOWER EUROPE".



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”

- Microturbina (MT) y generación de energía eléctrica: Se han considerado para el estudio tres modelos de turbina, de potencias respectivas 30, 65 y 200 kW de generación eléctrica y hasta 275 kW de recuperación térmica. Las turbinas serán de construcción compacta y de alta eficiencia, posibilitando su ubicación en un espacio reducido. No precisan circuitos de refrigeración por agua, se refrigeran por aire, por lo que se han de ubicar en espacios abiertos o muy ventilados. Tampoco precisan circuitos de lubricación permanente, por lo que su instalación es sencilla, evitando instalar otros elementos auxiliares.

La microturbina es un módulo el cual se conecta al resto de los equipos (Fig.31), obteniendo el biogás tratado y a la presión correspondiente para obtener de la UTB, para expulsar los gases de escape al intercambiador de calor para importar/exportar electricidad. Estos equipos forman un conjunto compacto con el generador eléctrico acoplado al eje. Dicho alternador genera corriente alterna en baja tensión, 400 V y 50 Hz. A través del equipo de electrónica de potencia, se consigue el sincronismo permanente con la red, independientemente de la velocidad de la microturbina, permitiendo su funcionamiento en modo autoconsumo en la planta. Un sistema de control de potencia, se comunica con el módulo de electrónica de potencia para adaptar de modo continuo la generación a las necesidades eléctricas de la planta, impidiendo el vertido de energía eléctrica a la red.

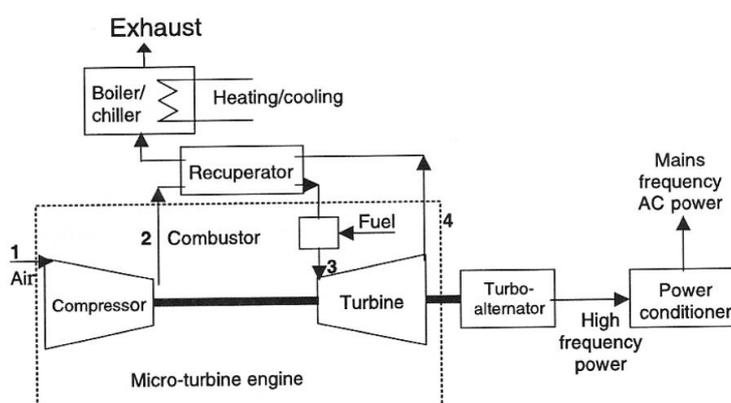


Figura 31: Esquema de flujo microturbina.

Fuente: Imagen proporcionada por “MICROPOWER EUROPE”.



Parámetros de operación de la microturbina C65:

Capstone Turbine Corporation • 21211 Nordhoff Street • Chatsworth • CA  
 91311 • USA Product Specification: Model C65 - Capstone MicroTurbine.

Tabla 11: Parámetros de la microturbina C65.

Parameter	Grid Connect	Stand Alone
<b>Performance Ratings</b>		
Net Power Output <sup>(2)</sup>	65 kW	
Net Efficiency (LHV) <sup>(2)</sup> Low	28% 29%	
Net Heat Rate (LHV)	12,900 kJ/kWh (12,200 Btu/kWh) 12,400 kJ/kWh (11,800 Btu/kWh)	
Steady State Fuel Flow (HHV) <sup>(3)(4)</sup> Low Emissions	919,000 kJ/hr (871,000 Btu/hr) 888,000 kJ/hr (842,000 Btu/hr)	
<b>Electrical Performance Ratings</b>		
Voltage Operating Range	400/48VAC	
Frequency Operating Range	50/60 Hz	
Output Voltage Connection	3-phase, 4 wire Wye (neutral must be solidly grounded)	
Output Current HUPS All Other	100 Amps RMS maximum steady state 120 Amps RMS maximum steady state 100 Amps RMS maximum steady state	
Total Harmonic Distortion (THD)	IEEE 519 compliant, 5% for current	IEEE 519 compliant, 5% for voltage
<b>Exhaust Output Ratings<sup>(7)</sup></b>		
Exhaust Gas Temp.  All Other	280 °C	
Exhaust Flow rate	0.49 kg/s	



TRABAJO FIN DE GRADO  
 “Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Parameter	Grid Connect	Stand Alone
<b>Air Flow Requirements</b>		
Engine Inlet Air Flow Low Emissions iCHP Low Emissions	27,400 slpm (968 scfm) 27,400 slpm (968 scfm) 26,300 slpm (930 scfm)	
Electronics Inlet Air Flow	14,200 slpm (500)	24,700 slpm (870)
<b>Environmental</b>		
Temperature Operating Storage	-20 to 50 °C -40 to 65 °C	
Average Annual Relative Humidity Installed – Standard Enclosure Installed – High Humidity Configuration Storage <sup>(13)</sup>	5 to 80%, non- condensing 5 to 95%, non-	
Enclosure Rating	NEMA 3R	
Altitude	< 3050 m	
Acoustic Emissions Ratings <sup>(14)</sup> iCHP Versions	65 dBA 70 dBA	
Seismic Rating	Zone 4	
<b>Dimensional</b>		
Height <sup>(15)</sup> Low Emissions iCHP Low Emissions All Other iCHP All Other non-iCHP	2.62 m (103 in) 2.17 m (85 in) 2.36 m (93 in) 1.91 m (75 in)	
Width	0.76 m (30 in)	
Depth iCHP <sup>(16)</sup> All Other	2.20 m (87 in) 1.95 m (77 in)	
Weight Low Emissions iCHP Low Emissions HUPS All Other iCHP All Other non-iCHP	1,089 kg 849 kg 903 kg 998 kg 758 kg	1,451 kg 1,212 kg 903 kg 1,364 kg 1,121 kg



- Módulo de aprovechamiento térmico, recuperador de calor: este módulo es empleado para el aprovechamiento de la energía térmica de los gases de escape de la microturbina. La temperatura de salida proporciona suficiente gradiente térmico para el calentamiento de agua para el proceso de digestión de fangos, mejorando el rendimiento conjunto de la instalación.

En función de la temperatura y del flujo másico que posean los gases de escape, se determinará la potencia térmica de recuperación de energía calorífica aprovechable.

El recuperador de calor, se construirá en acero inoxidable para evitar la corrosión generada por los gases de combustión. Ha de prestarse atención a la producción de condensaciones de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) que puedan deteriorar el recuperador.

- Cuadro eléctrico y de control: El cuadro eléctrico y de control estará ubicado en el interior de un armario, el cual estará distribuido en dos partes: la parte superior donde se encontrarán los elementos de control y en la parte inferior los elementos de potencia.

Desde el armario serán alimentado el compresor de la UTB, para suministrar la potencia requerida para el correcto funcionamiento del enfriador y el compresor.

Al cuadro de control se conectará toda la instrumentación de la parte de tratamiento de combustible y el control de la recuperación de calor de los gases de escape. A su vez, se realizan las conexiones de los instrumentos para las protecciones de seguridad. También será conectado el actuador de la válvula de bypass, así como la instrumentación correspondiente al circuito de recuperación de calor.



El cuadro de control dispone de un variador de frecuencia que regula el motor eléctrico del compresor para dar una presión de descarga de 6 bar y contiene los elementos necesarios de seguridad, interruptores, magnetotérmicos, diferenciales, descargadores de tensión, separación galvánica para señales analógicas, pilotos de funcionamiento real, alarmas básicas e interruptor de paro de emergencia. En el cuadro de control se encuentra la interfaz de comunicación con el usuario.

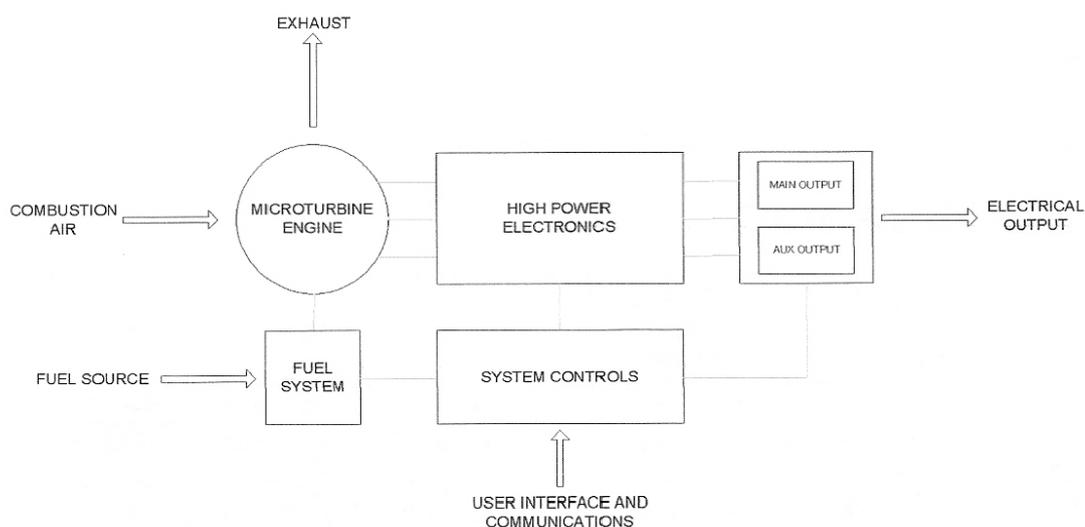


Figura 32: Esquema de flujo panel control microturbina.

Fuente: Imagen proporcionada por "MICROPOWER EUROPE".

## 2.8. PLANTEAMIENTO DE LOS CASOS DE ESTUDIO

De acuerdo a los datos de partida de la planta y de la información proporcionada por la empresa, se realizará un estudio previo para dimensionar la instalación.

El estudio previo realizado para determinar la solución propuesta, establece la instalación de un equipo de turbinado cuya potencia eléctrica esperada sea de un mínimo 65 kW<sub>e</sub>. Se tienen en cuenta rangos de funcionamiento entre 8 y 24 h al día durante 285 y 365 días al año. De este modo, según el indicador de productividad FEDER "C030" (Capacidad adicional para



producir energía renovable), obtenemos un valor mínimo y uno máximo, respectivamente, de 148.000 kWh/año y 444.600 kWh/año. Sin embargo, para calcular el valor previsto real se considera un valor de riesgo de un 15% sobre el valor mínimo, estimando un valor de energía renovable generada de 170.430 kWh/año.

Partiendo de las especificaciones técnicas del modelo de una microturbina CR65 de la casa "Capstone Turbine Corporation", se realizará el cálculo del consumo de la turbina en  $kW_{PCI}$ .

De este modo, se establecerá la relación entre el caudal de biogás generado por el digestor y el aprovechamiento energético como combustible en la microturbina.

Se establecen dos casos de estudio, uno para una turbina de 65 kW y otro para dos turbinas de 65 kW. En ambos casos, los equipos comunes se dimensionan para la instalación de dos turbinas de 65 kW, con el fin de que la instalación propuesta pueda valorizar todo el biogás potencialmente generado por la EDAR, adecuando el nivel de inversión a la disponibilidad presupuestaria actual.

Como dato de partida, utilizamos las especificaciones técnicas del combustible para la turbina modelo CR65:

Tabla 12: Características del combustible, biogás.

Características del combustible/máquina	
Digester Gas HHV	20.5-32.6 Mj/m <sup>3</sup>
Contenido de H <sub>2</sub> S	< 5,000 ppmv
Presión de entrada	517-552 kpa
Flujo de fuel HHV	888 Mj/h
Caudal de biogás necesario	34,65 Nm <sup>3</sup> /h
Ratio de calor neto LHV	12.4 Mj/kWh



De este modo, según las especificaciones del fabricante, para el funcionamiento de la microturbina durante 24 h al día es necesario un caudal mínimo de biogás de 34,65 Nm<sup>3</sup>/h, lo que equivale a 831,6 Nm<sup>3</sup> al día.

- Por los datos de partida, sabemos que la media de caudal de biogás generado por el digester es de 80 m<sup>3</sup>/h y que su PCI es de 6,47 kWh/Nm<sup>3</sup>:

$$80 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} * 6,47 \frac{\text{Kw h}}{\text{Nm}^3} = 517,6 \text{ Kw}_{PCI}$$

- Realizando el cálculo para una única microturbina CR65:

$$34,65 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} * 6,47 \frac{\text{Kw h}}{\text{Nm}^3} = 224,19 \text{ Kw}_{PCI}$$

- Realizando el cálculo para dos microturbinas CR65:

$$69,3 \frac{\text{Nm}^3}{\text{h}} * 6,47 \frac{\text{Kw h}}{\text{Nm}^3} = 448,37 \text{ Kw}_{PCI}$$



### Caso de estudio 1

En el primer caso de estudio, se propone la instalación de dos microturbinas CR65. El caudal medio generado de biogás en el digestor es de 80 m<sup>3</sup>/h, mayor que el que precisaría una única microturbina para trabajar a plena carga durante las 24 h diarias.

Por ello, se estima como más eficiente aumentar la valorización a los 69,3 Nm<sup>3</sup>/h, de los 80 disponibles, con un caudal excedentario de 10.7 Nm<sup>3</sup>/h, a enviar a la antorcha o a las calderas actualmente en servicio. Por otro lado, la generación de potencia eléctrica de salida sería de 130 kW. En esta configuración se sobrepasaría la potencia de diseño planteada en el pre-estudio.

Desde estudio de la facturación eléctrica se deduce que en algunos de los meses se tendría una mayor producción de energía neta real para autoconsumo de la planta que la consumida, por lo que es necesario disponer de un sistema de regulación de la energía generada para impedir el vertido de energía eléctrica a la red. En el actual contexto legislativo no se contempla la venta de los excedentes.

La recuperación de la energía térmica contenida en los gases de escape de la microturbina de 260 kW<sub>t</sub> sería suficiente para mantener el proceso de digestión y la generación de ACS (agua caliente sanitaria) de planta.

Como conclusión inicial, en el caso de estudio 1, el aprovechamiento energético sería óptimo, si bien puntualmente sería necesario quemar excedentes en la antorcha de la planta al superar la generación para el autoconsumo.



### Caso de estudio 2

En el segundo caso de estudio, se analiza la posibilidad de instalar una única microturbina CR65, con una producción eléctrica de salida de 65 kW.

En referencia a la eficiencia del consumo de caudal de biogás generado por el digestor, el aprovechamiento realizado será de 34,65 m<sup>3</sup>/h frente a los 80 m<sup>3</sup>/h producidos. Los 45,35 m<sup>3</sup>/h restantes de biogás no serán empleados y deberán de ser quemados en la antorcha de la planta.

La producción eléctrica se verá reducida con respecto al caso de estudio primero, con una generación de 65 kW de potencia eléctrica.

La recuperación de la energía térmica contenida en los gases de escape de la microturbina, sería correcta y ajustada para el proceso de digestión, necesitando un salto térmico en un rango de temperaturas entre 40-60 °C, con una potencia estimada de recuperación térmica de 130 kW<sub>t</sub>.

Como conclusión previa, en el caso de estudio 2, el ajuste de la producción de energía para autoconsumo, en referencia a la producción de biogás, no será modulada, sino que será constante, salvo bajadas puntuales del consumo en planta. El aprovechamiento del biogás será más ineficiente al no conseguir la valorización energética completa del mismo.

En esta opción, se consigue mantener el equipo generador-microturbina a plena carga durante las 24 horas del día, generando una potencia neta de 65 kW de manera uniforme y continuada. De este modo estaremos del lado de la potencia estimada para al autoconsumo sin generar excedentes de producción.



## 2.9. SOLUCIÓN PROPUESTA

De acuerdo a los casos de estudio, la solución inicial propuesta se basa en la instalación de dos microturbinas CR65 de “Capstone Turbine Corporation”, junto con el equipo auxiliar necesario. Se consideran los siguientes condicionantes:

- Se ha de instalar una unidad de tratamiento y de adecuación del biogás, capaz de gestionar el caudal necesario para dos módulos de microturbina CR65. Se propone la instalación de un modelo tipo MGTP-Q 80 para 80 Nm<sup>3</sup>/h. En caso de consumo de biogás por dos módulos CR65, el consumo total sería de 69,3 Nm<sup>3</sup>/h.
- Implantación de dos módulos CR65, con lo que aseguramos el funcionamiento de una microturbina a plena carga durante el régimen de trabajo de la planta, con una producción eléctrica máxima de 130 kW.
- Instalación de un sistema de recuperación de la energía térmica de los gases de escape. Para un caudal a plena carga de 0,49 kg/s, a una temperatura de 280 °C y para un salto térmico de proceso entre 40 °C y 60 °C, conseguiríamos una recuperación térmica de 130 kWt por microturbina.

Se considera la instalación de un recuperador térmico para dos módulos CR65, con el fin de mantener la potencia térmica necesaria para alimentar el circuito de calefacción del digestor.

Examinando el condicionante expuesto en los datos de partida sobre el consumo total de energía activa al año, observamos que es posible una producción eléctrica con la cogeneración mayor que el consumo anual en planta.



Tabla 13: Consumo de energía.

Año	Energía (kWh/año)	Observaciones
2014	907.378,10	
2015	931.746,10	
2016	988.503,10	
2017	802.300	11 meses

Energía generada al 100% =  $130 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 1.138.800 \text{ kWh/año}$

El diferencial de energía que puede ser vertido a la red no justifica la inscripción de la cogeneración en el régimen especial ni las adaptaciones necesarias en el lado de alta tensión.

Considerando la capacidad de autoconsumo, el escenario contemplado como solución propuesta, es el siguiente:

- Instalación de dos microturbinas de 65 kW, con una máquina a plena carga y un segundo módulo al 70%, cubriendo el 100% de la demanda de la EDAR.

$$65 \text{ kW} \cdot 0,7 = 45,5 \text{ kW}$$

$$(65 + 45,5) \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 967.980 \text{ kWh/año}$$



### 2.9.1. OBRA CIVIL

La obra civil para la instalación de las microturbinas y su correspondiente equipo auxiliar, consistirá en la construcción una losa de 7000 x 7000 mm de hormigón armado, dividida mediante un posterior corte en dos segmentos de 3000 x 6000 mm cada una, con el fin de permitir las contracciones y dilataciones que sufra la placa de hormigón, debido a los gradientes térmicos que se puedan llegarse a producir, sin que se originen grietas. A su vez, se realizará una cubierta para proteger los equipos de los fenómenos meteorológicos.

No se llevará a cabo el cerramiento lateral completo, ya que las microturbinas necesitan de un espacio abierto para la admisión de aire de refrigeración. Sin embargo, como consecuencia de la ubicación de la planta y de las inclemencias del tiempo, será necesario cerrar los lados norte y oeste.

Los trabajos a realizar de obra civil son:

- Excavación: realizar una excavación y movimiento de tierras del terreno actual de la ubicación asignada, hasta alcanzar la cota -900 mm de la obra en una medida de 8000 x 8000 mm.
- Encachado en caja para base solera: Encachado en caja para la base de la solera de 200 mm de espesor, mediante relleno, extendido y compactado mecánico en tres tongadas no superiores a 200 mm de espesor, para evitar un terreno granular suelto que potencie asientos elásticos. Se empleará una base compactada de zahorras naturales.
- Construcción de una capa de 100 mm de hormigón de limpieza HL-150/B/20, en el fondo de la caja de la solera.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



- Construcción de una solera de 200 mm de espesor y de dimensiones 7000 x 7000 mm: sobre la capa de hormigón de limpieza se extenderá una solera de hormigón armado HA-25/B/20/IIa de 200 mm de espesor, con un mallazo de varilla de acero corrugado de 15/15/10.
- Construcción de un muro de bloque de 200 x 200 x 400 mm en la cara norte de la placa de hormigón, con una altura 3150 mm de altura y 7000 mm de largo.
- Realización de una estructura para la sustentación de la cubierta protectora. Esta constará de 6 pilares de IPE 240; tres de ellos de 2735 mm de altura, ubicados en la cara norte, y los otros tres de 3140 mm de altura, ubicados en la cara sur. De este modo se le dará una caída al tejado para la eliminación de las aguas.

Entre ellos irán dispuestas tres vigas en IPE 240 de 5170 mm de longitud, sobre las que transversalmente se dispondrán unas correas metálicas tipo “Teczone” o similar 175/50/20 x 3, de 6640 mm de longitud. Se dispondrán cada 1000 mm de separación aproximadamente, con angulares de sujeción. En dichas correas se fijarán las cubiertas.

- Instalación de una cubierta protectora ligera, tipo “Teczone” o similar TZ-30. Se cubrirá una superficie de 38 m<sup>2</sup>, en planchas de 1100 mm de anchura y 5430 mm de largo.
- Construcción de un murete de bloque de 200 x 200 x 400 mm en la cara oeste de la placa de hormigón, con una superficie de 18,02 m<sup>2</sup>.
- Realización de una zanja de 1000 mm de profundidad y de aproximadamente 65 m de longitud, para la acometida eléctrica hasta el cuadro de baja tensión, para la conexión a la red interna de la planta. Se rellenará en estratificaciones de hormigón H-100, tierra compactada



y hormigón H-150. Se incluirán arquetas de hormigón intermedias a distancias no mayores de 40 metros entre sí y en cada cambio de dirección.

- Excavación de una zanja con medios mecánicos de 84,5 m de longitud para soterrar la línea de gas desde el gasómetro hasta la nueva planta de cogeneración, con una profundidad máxima de 1,25 m de profundidad máxima.
- Realización de varios enanos de hormigón para la sustentación e instalación de dos tuberías, ida y retorno, necesarias para enlazar con el circuito cerrado de agua de calentamiento del digestor, llegando al recuperador de calor de la nueva instalación.

### 2.9.1. INSTALACIÓN DE BAJA TENSIÓN

Será necesaria la implantación de una instalación de baja tensión para conexas los equipos generadores a la red interna de la planta.

Con el fin de acometer la instalación eléctrica y suministrar la energía generada para el autoconsumo, es necesaria la instalación de un módulo enchufable de protección en el cuadro de baja tensión.

También se plantea la instalación de un controlador dinámico de potencia (CDP) para regular el nivel de generación en función del consumo y evitar de esta manera el envío de energía a la red. Este controlador irá acompañado de tres transformadores de intensidad de núcleo partido de 600/5 de a la marca “Circutor” o similar.

El cuadro eléctrico principal y la instalación correspondiente a la cogeneración, se conectarán por medio de una línea de aproximadamente 65 m entre ambos, realizada bajo canalización enterrada, protegiendo en dicha canalización la línea.

Junto con la línea eléctrica se colocará una línea de comunicación ethernet



para comunicar en el cuadro de control general con el módulo de control de la instalación de gas que deben ser compatibles.

La canalización a instalar transcurrirá a la profundidad de 800 mm medidos a la generatriz superior del tubo, por un tubo corrugado de polietileno (TCP), embebidos en hormigón en masa H-100, de doble pared (interior lisa, exterior corrugada), de diámetro interior 110 mm, de resistencia a la compresión > 450 N, resistencia al impacto tipo N (Uso normal), color naranja, y marcas indelebles indicando marca o nombre del fabricante, designación, nº del lote o las 2 últimas cifras del año de fabricación y Norma UNE-EN 50086/94. Sobre la masa de hormigón se dispondrán 42 cm de relleno de tierra compactada cada 15 cm (95% Proctor modificado), cinta señalizadora de PE colocada 10 cm antes de la última capa de tierra compactada y 25 cm de hormigonado de 150 Kg/cm<sup>2</sup>.

### 2.9.2. LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN

En referencia a la representación esquemática de la instalación elaborada (Fig.33), el equipo de turbinado y sus equipos auxiliares se pretenden instalar en la zona norte de la planta.

La ubicación más adecuada para la instalación del equipo generador, se encuentra en la Zona A de la imagen adjunta. Dicha zona ha sido elegida debido a la extensión de terreno libre.

Por otro lado, se considera dicha ubicación debido a la instalación de las líneas de gas. La tubería de gas parte desde el gasómetro hasta el primer nexo de unión, en el que una válvula de regulación divide el caudal de biogás para ser quemado en la caldera de la instalación actual, Zona B, o bien para ser procesado en la antorcha de la EDAR.



Se requiere llevar a cabo una modificación de la instalación actual, donde se conserve la Zona B con la caldera de combustión directa existente.

Se instalará un segundo nexo de unión previo a la Zona B, implantando una nueva tubería de gas soterrada hasta la planta de cogeneración, con una regulación gobernada por el caudal de alimentación de biogás al doble módulo generador. El caudal sobrante será quemado, por tanto, en la antorcha.

Como consecuencia de ser establecida la zona ATEX, el centro de la losa de hormigón será construida a una distancia prudencial de 12 m con respecto a la antorcha, por motivos de seguridad.

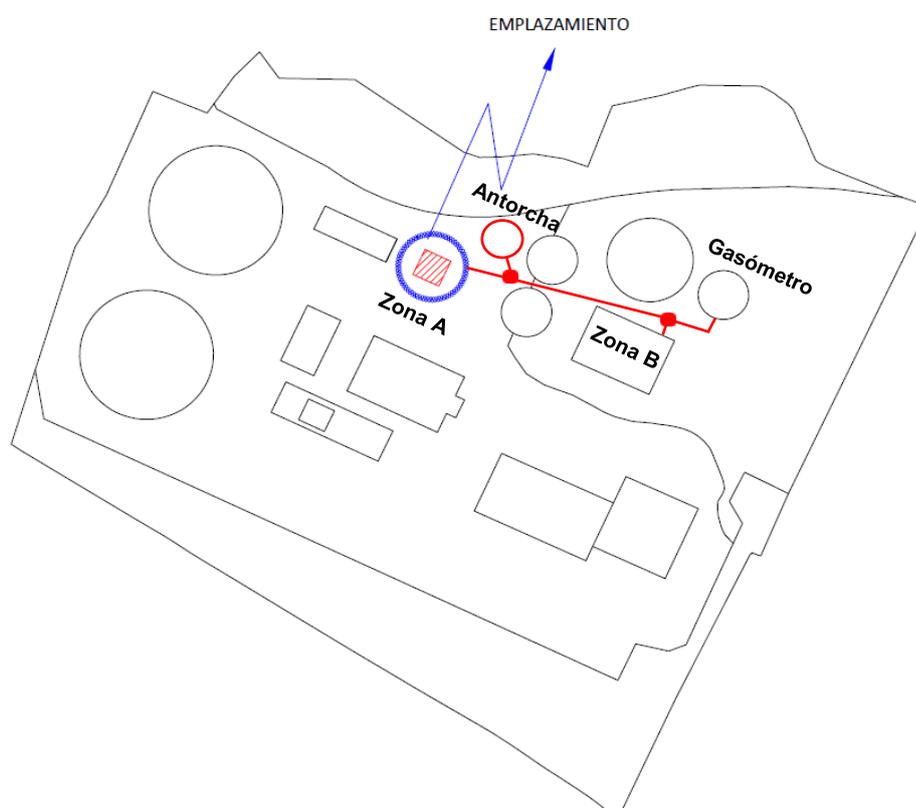


Figura 33: Localización de la instalación.

Fuente: Imagen proporcionada por "MICROPOWER EUROPE".



### 2.9.3. CÁLCULOS TERMODINÁMICOS

A partir de los datos de partida y de la ficha de parámetros intrínsecos de las microturbinas, en este apartado del proyecto serán realizados los cálculos termodinámicos del ciclo Brayton Regenerativo que estas máquinas emplean.

A continuación, se muestra la tabla anexa de los datos operacionales (Tabla 14), así como el cálculo del calor específico a presión constante de los gases de combustión y de la relación de compresión.

Tabla 14: Datos operacionales.

DATOS OPERACIONALES			
Parámetros	Sím.	Unidades	
Temperatura entrada aire	T <sub>1</sub>	K	293
Temperatura salida gases escape	T <sub>3</sub>	K	1300
Temperatura salida gases escape recuperador	T	K	553
Presión entrada aire compresor	P <sub>1</sub>	bar	1
Presión salida aire compresor	P <sub>2</sub>	bar	6
Coeficiente adiabático	γ	-	1,4
Calor específico (P=cte) aire	C <sub>p</sub>	kJ/kg K	1,0035
Calor específico (P=cte) biogás	C <sub>p</sub>	kJ/kg K	1,092
Calor específico (P=cte) gases comb.	C <sub>p</sub>	kJ/kg K	1,024
Flujo másico gases de escape	G	kg/s	0,49
Potencia neta de salida	P <sub>n</sub>	kW	65
Rendimiento de compresión	η <sub>c</sub>	%	85
Rendimiento de turbinado	η <sub>T</sub>	%	85
Rendimiento transferencia de calor	η <sub>T</sub>	%	85

- Relación de compresión:

$$R_c = \frac{P_2}{P_1} = \frac{6}{1} = 6 \text{ bar}$$



- Calor específico de los gases de combustión:

$$C_p = 0,9952 + 92,1 \cdot (1 \cdot 10^{-6} \cdot T)$$

$$C_p = 0,9952 + 92,1 \cdot (1 \cdot 10^{-6} \cdot 309 \text{ } ^\circ\text{C}) = 1,024 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Diagrama de flujo:

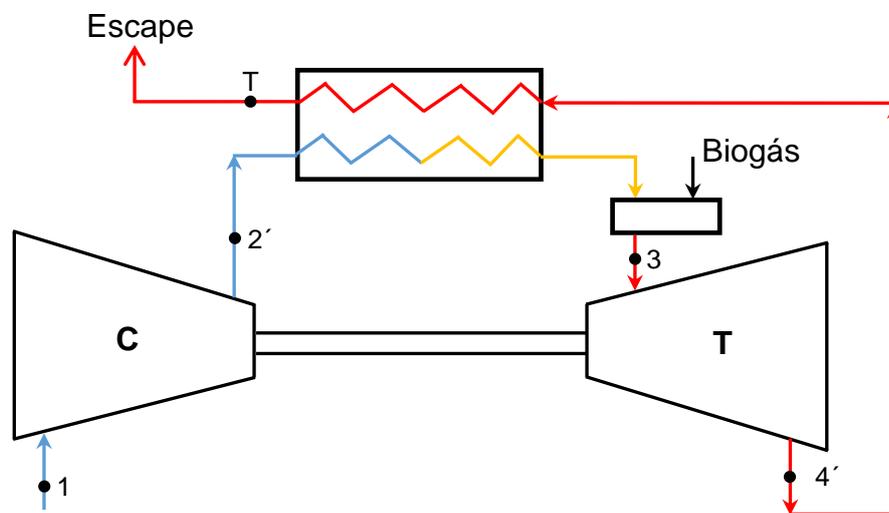
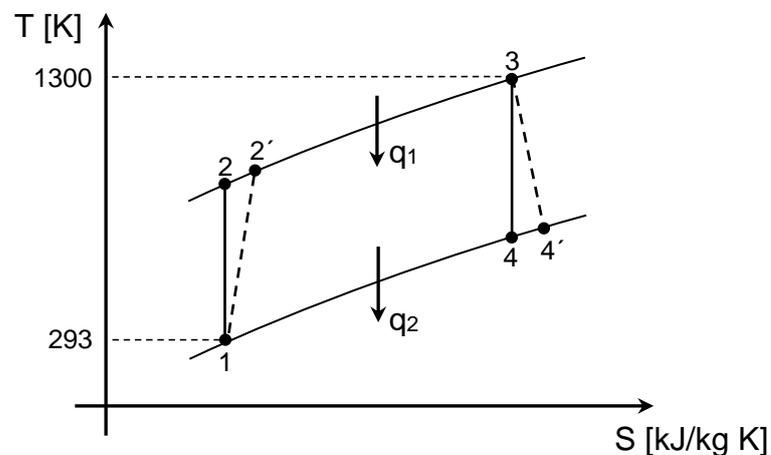


Diagrama de flujo.

Fuente: elaboración propia.

Ciclo de trabajo:



Ciclo de trabajo Brayton regenerativo.

Fuente: elaboración propia.



- Cálculo de los parámetros característicos del ciclo:

Etapa de compresión

$$T_2 = T_1 \cdot (r_c)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 293k \cdot (6)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 488,87 K$$

$$\eta_c = \frac{T_2 - T_1}{T_{2'} - T_1} \Rightarrow 0,85 = \frac{488,87 K - 293 K}{T_{2'} - 293 K} \Rightarrow T_{2'} = 523,44 K$$

Etapa de turbinado

$$T_4 = T_3 \cdot \left(\frac{1}{r_c}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = 1300k \cdot \left(\frac{1}{6}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} = 779,14 K$$

$$\eta_T = \frac{T_3 - T_{4'}}{T_3 - T_4} \Rightarrow 0,85 = \frac{1300 K - T_{4'}}{1300K - 779,14 K} \Rightarrow T_{4'} = 857,23 K$$

Es posible la regeneración cuando la temperatura de salida de los gases de escape ( $T_{4'}$ ), es superior a la temperatura del aire de descarga del compresor ( $T_{2'}$ ). En este caso se cumple la condición necesaria y suficiente en la cual:  $T_{4'} > T_{2'}$ .

- Cálculo del trabajo neto del ciclo:

$$W_c = C_{p_{aire}} \cdot (T_{2'} - T_1) = 1,0035 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (523,44 - 293)K = 231,25 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_T = C_{p_{gas\ escape}} \cdot (T_3 - T_{4'}) = 1,024 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (1300 - 857,23)K = 453,4 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_1 = C_{p_{biogás}} \cdot (T_3 - T_{2'}) = 1,092 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (1300 - 523,44)K = 848 \frac{kJ}{kg}$$



$$W_{neto} = W_T - W_C = 453,4 \frac{kJ}{kg} - 231,25 \frac{kJ}{kg} = 222,15 \frac{kJ}{kg}$$

- Cálculo del rendimiento del ciclo:

$$\eta_{ciclo} = \frac{W_T - W_C}{q_1} = \frac{W_{neto}}{q_1} = \frac{222,15 \frac{kJ}{kg}}{848 \frac{kJ}{kg}} = 0,262 \Rightarrow 26,2\%$$

- Cálculo del flujo másico de aire requerido para una potencia neta de salida de 65 kW:

$$P_{neto} = G \cdot W_{neto} \Rightarrow 65kW = G \cdot 222,15 \frac{kJ}{kg}$$
$$G = \frac{65kW}{222,15 \frac{kJ}{kg}} = 0,29 \frac{kg}{s}$$

- Cálculo de la energía cedida, no empleada en el ciclo:

$$q_2 = C_{p_{gas\ escape}} \cdot (T_{4'} - T_1) = 1,024 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (857,23 - 293)K = 577,77 \frac{kJ}{kg}$$

- Potencia calorífica aprovechable en el recuperador:

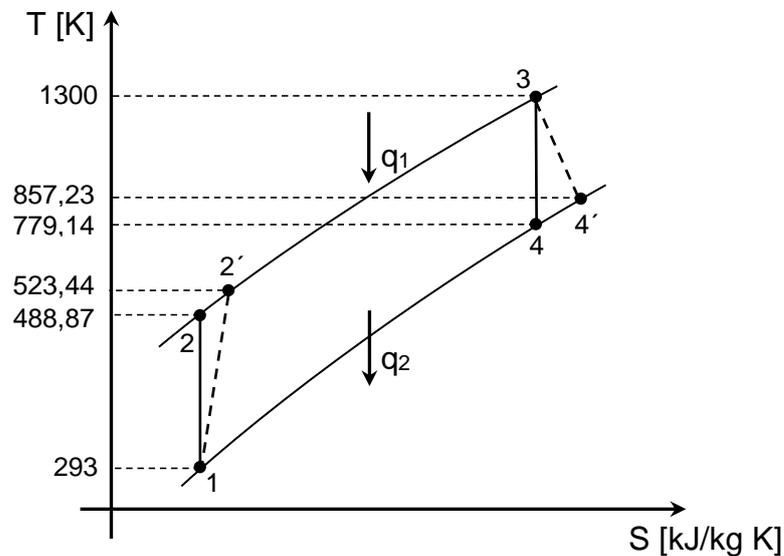
$$Q = G \cdot C_{p_{gas\ escape}} \cdot (T_{4'} - T) \cdot \eta_{transferencia\ calor}$$
$$Q = 0,49 \frac{kg}{s} \cdot 1,024 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot (853,23 - 553)k \cdot 0,85 = 129,75 kW$$

- Potencia suficiente para el calentamiento del digestor en un rango de:

$$40\text{ }^\circ\text{C} - 60\text{ }^\circ\text{C} \rightarrow 130\text{ kW}_t$$



- Representación del ciclo de trabajo con los parámetros reales:



Ciclo de trabajo real: Brayton regenerativo.

Fuente: elaboración propia.

## 2.10. DISEÑO REALIZADO DE LA PLANTA

La distribución de los equipos se realizará en la losa de hormigón de 7000 x 7000 mm, destinada para tal fin. Se tendrá en cuenta la disposición de dos microturbinas CR65, una unidad de tratamiento de biogás completa y un recuperador de calor provisto de bypass de gases de escape, en función del caudal requerido por el recuperador.

- Las microturbinas han de ser ubicadas en el interior del tejadillo respetando las tolerancias de separación con los equipos anexos, y sin obstaculizar las rejillas delanteras de admisión de aire para su refrigeración. Por ello no se llevará a cabo el cerramiento lateral completo, sin embargo, como consecuencia de la ubicación de la planta, será necesario cerrar los lados norte y oeste.
- La unidad de tratamiento de biogás y el tanque de carbón activo, estarán ubicados en la parte posterior de las microturbinas con el fin de



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”

estar próximos a los equipos y realizar las conexiones pertinentes de alimentación a los módulos.

- La enfriadora, perteneciente al módulo de tratamiento, irá ubicada en el exterior del tejadillo para una mayor ventilación de las baterías de condensación frigorífica. Estará lo más próxima posible a la UTB, donde irá conectada.
- El recuperador de calor se dispondrá en el exterior del tejadillo, en las cercanías de los colectores de escape de las microturbinas. Se orientará de forma que, el calor residual transmitido por conducción, no afecte a la admisión de aire ni a la refrigeración de las microturbinas.
- Los cuadros eléctricos de mando y de control de la instalación se colocarán en el interior del tejadillo, ubicados en un armario en los límites posteriores de la losa. Se busca un lugar para su implantación en la que quede protegido de las inclemencias del tiempo.

La instalación tendrá la siguiente distribución de equipos (Fig.34) en orden secuencial, desde la entrada de biogás a la exportación de energía eléctrica y térmica.

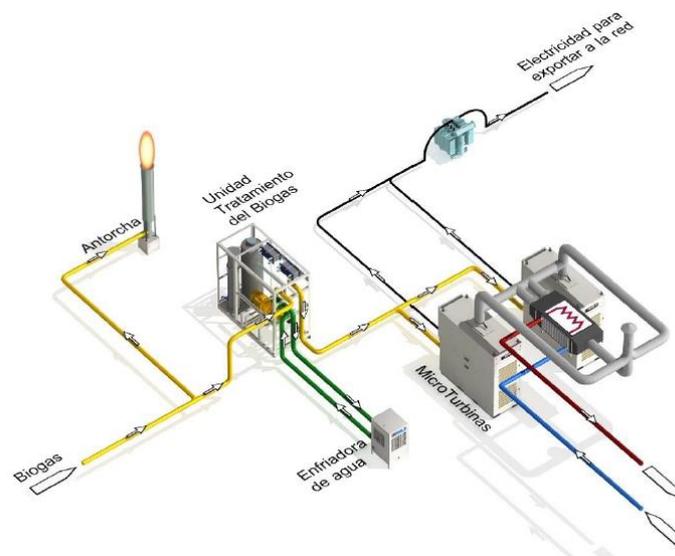


Figura 34: Distribución de equipos.

Fuente: Imagen proporcionada por “MICROPOWER EUROPE”.



Mediante la distribución citada de las microturbinas y de los sistemas auxiliares, lograremos establecer una repartición adecuada y organizada de los equipos, en función de las necesidades de cada uno de ellos.

A continuación, se muestra el diseño realizado en 3D de la nueva planta (Fig.35), donde se visualizan los equipos y su colocación dentro del área de implantación:

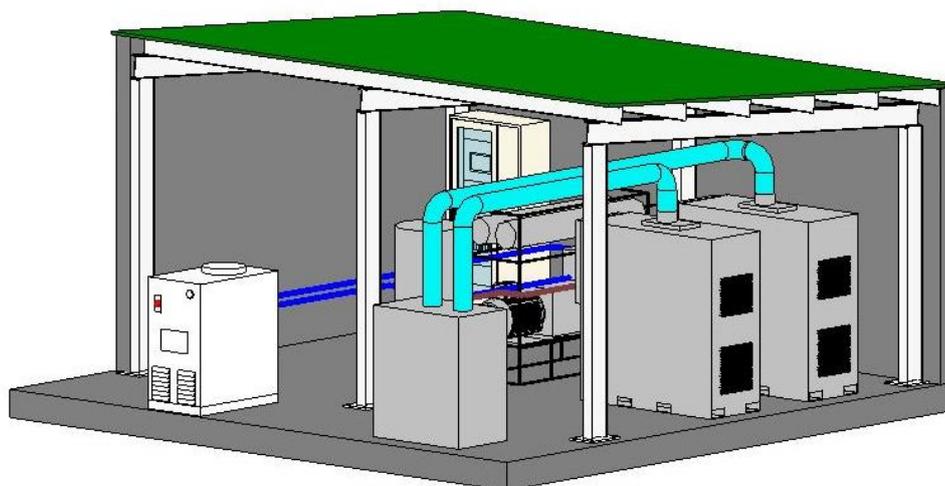


Figura 35: Diseño 3D realizado de la planta.

Fuente: Elaboración propia

## 2.11. PUESTA EN MARCHA Y MANTENIMIENTO REQUERIDO

La puesta en marcha de la nueva instalación generadora será realizada por el fabricante de las microturbinas. Se calibrará el funcionamiento de cada máquina para asegurar un buen estado de trabajo del conjunto de las microturbinas y de las unidades auxiliares.

El control diario de la instalación será realizado por los operarios de la EDAR, vigilando e inspeccionando el buen funcionamiento de los equipos, así como efectuarán los requerimientos de mantenimiento mínimos necesarios.

Se entiende como mantenimiento al conjunto de tareas realizadas para



asegurar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones.

El mantenimiento es muy importante, ya que nos da a conocer qué tipo de anomalías tiene el equipo para poder resolver el problema que se esté produciendo con eficacia, y de esa forma no trasladarle, evitando que se extienda y ocasione un mal mayor. Es por ello que un mantenimiento adecuado prolonga la vida útil de los equipos, evitando el número de fallos y ayuda a que las condiciones de trabajo sean las óptimas.

Los objetivos principales del mantenimiento son: garantizar una vida útil adecuada para el tipo de máquina y uso que se esté dando de ella, así como reducir los costes de producción.

A la hora del diseño del plan de mantenimiento de la instalación, debemos de centrarnos en el mantenimiento preventivo. Ya que, mediante él, podemos determinar una frecuencia de inspecciones para llevar a cabo cualquier tarea de mantenimiento o de reparación previa a que ocurra un mal mayor.

El mantenimiento de la planta, se centra especialmente en las microturbinas y el compresor de biogás, así como en los otros elementos de la instalación, pero de una forma más liviana; debido a que el UTB y el recuperador son equipos que no necesitan de excesivo mantenimiento, solo de tareas y controles específicos para comprobar su correcto estado, En el caso de que ocurra un fallo sin detección previa, debe ser aplicado un mantenimiento correctivo y subsanar la avería de la forma más eficaz con los medios disponibles.

Para mantener los equipos generadores en unas buenas condiciones de maniobra y operación, se considerarán como costes a evaluar los derivados de un modelo de mantenimiento subcontratado al fabricante. En dicho modelo, se realizará un plan de mantenimiento a 9 años o 79.999 h de funcionamiento, a ofertar por parte del fabricante. En este modelo, como



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”

base de un mantenimiento preventivo, se realizará una revisión de las microturbinas cada 8.000 h y cada 20.000 h. Además, se tendrá en cuenta un mantenimiento correctivo en caso de averías, fallos y daños en las unidades.

En último lugar, será necesario el “overhaul” de las microturbinas en el momento que cumplan las 40.000 h de funcionamiento, realizándose un desmontaje completo, una revisión exhaustiva y la sustitución de elementos de desgaste, así como de componentes en mal estado.

Tabla 15: Plan de mantenimiento.

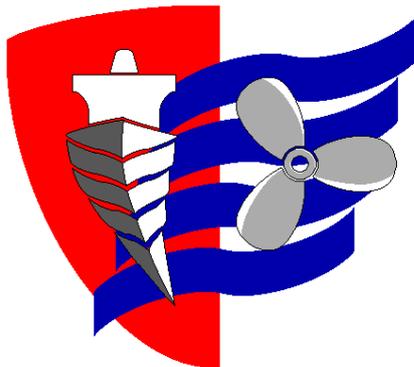
Plan de mantenimiento a 9 años con “overhaul”		
< 4000 h/año	4000 – 6000 h/año	> 6000 h/año



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**ESTUDIO DE VIABILIDAD**



### 3 ESTUDIO DE VIABILIDAD

#### 3.1. ANÁLISIS DE LA INVERSIÓN

De acuerdo a la solución propuesta en el estudio realizado, se lleva a cabo el análisis de la inversión para la instalación de dos microturbinas y sus equipos auxiliares.

Partiendo de lo señalado en los diferentes apartados estudiados con anterioridad, se identifican los siguientes flujos de caja:

- Anteproyecto:

Redacción y entrega del estudio de valorización de la turbina de biogás.

- Coste: 8.000,00 €

- Ayuda Feder: 4.000 €

- Inversión inicial:

Estimación del coste total de la instalación de acuerdo a presupuesto adjunto.

- Coste: 339.419,45 €

- Ayuda Feder: 66.000€

- Costes de mantenimiento y operación:

Asociado al mantenimiento de las turbinas de biogás, se plantea la contratación del siguiente servicio de mantenimiento:

- 9 años o 79.999 horas de funcionamiento, > 6.000 horas/año (preventivo + correctivo + "overhaul"): Coste: 13.194,00 €/año



- Beneficio energético:

Se considera la energía producida por las microturbinas como energía no consumida de la red, con el consiguiente ahorro en la factura eléctrica (término de energía).

- **Análisis previo:** Instalación de dos microturbinas de 65 kW con ambas máquinas a plena carga:

- Estimación de la energía eléctrica producida teórica por las microturbinas al 100%:

$$130 \text{ kW} \times 24 \frac{\text{horas}}{\text{día}} \times 365 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 1.138.800 \text{ kWh/año}$$

- Estimación del coste asociado a la energía eléctrica generada:

Se considera un precio medio del kWh de 0,084 €/kWh.

$$1.138.800 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 0,084 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 95.659,20 \text{ €/año}$$

Adicionalmente, al añadir estos 130 kW de generación eléctrica a la planta, se considera la posibilidad de reducción del término de potencia en 50 kW en P1 y P2.

- Estimación ahorro energético en el término de potencia:

TARIFAS DE ACCESO DE ALTA TENSIÓN					
Tarifa		Periodo 1	Periodo 2	Periodo 3	Unidades
3.1 A	TP	59,173468	36,490689	8,367731	(€/kW y año)
Actual	P	200	200	320	kW
Reducción	P	50	50	0	kW
Cambio	P	150	150	320	kW
Reducción	€	2958,67	1824,53	0	€/año
Total	€	4783,21	€/año		



- Beneficio termino energía: 95.659,20 €/año
- Ahorro termino potencia: 4.783,21 €/año

Flujos de caja:

Concepto	Cantidad
Anteproyecto	- 8.000,00 €
Ayuda Feder	+ 4.000,00 €
Inversión inicial	- 339.419,45 €
Ayuda Feder	+ 66.000,00 €
Mantenimiento	- 13.194,00 €/año
Beneficio energía	+ 95.659,20 €/año
Ahorro potencia	+ 4.783,21 €/año

A partir de estos datos se obtienen los siguientes indicadores económicos:

+ Pay-back:

$$Pay\ back = \frac{I_0}{F}$$

Siendo:

- $I_0$  el coste inicial del proyecto.
- $F$  el valor de los flujos de caja.

Que para el caso en estudio resulta:

$$Pay\ back = \frac{Anteproyecto + Inversión\ inicial - Ayudas\ FEDER}{Beneficio\ energía + Ahorro\ potencia - Mantenimiento}$$

$$Pay\ back = \frac{- 8.000\ € - 339.419,15\ € + 4.000\ € + 66.000\ €}{95.659,20\ €/año + 4.783,21\ €/año - 13.194,00\ €/año}$$

$$Pay\ back = 3,18\ años$$



+ Valor Actual Neto (VAN):

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

Dónde:

- $F_t$  son los flujos de caja en cada periodo  $n$ .
- $I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- $n$  es el número de periodos considerado.
- $k$  es el tipo de interés.

Se considera un tipo de interés,  $k = 3\%$  y  $n = 5$  años.

Se muestra a continuación una tabla de datos con los flujos de caja a 5 años.

Flujo/Año	0	1	2
Anteproyecto	-8.000 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	4.000,00 €	0,00 €	0,00 €
Inversión inicial	-339.419,45 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	66.000,00 €	0,00 €	0,00 €
Mantenimiento	0,00 €	-13.194 €	-13.194 €
Beneficio energía	0,00 €	95.659,20 €	95.659,20 €
Ahorro potencia	0,00 €	4.783,21 €	4.783,21 €

<b>Flujo Total</b>	<b>-277.419,45 €</b>	87.249,41 €	87.248,41 €
--------------------	----------------------	-------------	-------------

Flujo/Año	3	4	5
Anteproyecto	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Inversión inicial	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Mantenimiento	-13.194 €	-13.194 €	-13.194 €
Beneficio energía	95.659,20 €	95.659,20 €	95.659,20 €
Ahorro potencia	4.783,21 €	4.783,21 €	4.783,21 €

<b>Flujo Total</b>	87.248,41 €	87.248,41 €	87.248,41 €
--------------------	-------------	-------------	-------------



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



$$VAN = -277.419,45 \text{ €} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + 0,03)^1} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + 0,03)^2} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + 0,03)^3} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + 0,03)^4} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + 0,03)^5}$$

$$VAN (5 \text{ años}) = 122.153,69 \text{ €}$$

Siendo el VAN > 0, a 5 años de inversión, el proyecto es rentable.

+ Tasa Interna de Retorno (TIR):

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^i \frac{F_t}{(1 + TIR)^n} = 0$$

$$-277.419,45 \text{ €} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + TIR)^1} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + TIR)^2} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + TIR)^3} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + TIR)^4} + \frac{87.249,41 \text{ €}}{(1 + TIR)^5} = 0$$

$$TIR (5 \text{ años}) = 17,27\%$$

A su vez, se analiza el caso presentado como solución:

- **Caso 1:** Instalación de dos microturbinas de 65 kW con una máquina a plena carga y el segundo módulo al 70%:

Producción estimada: 967.980 kWh/año.

Beneficio energético: 967.980 kWh/año x 0,084 €/kWh = 81.310,32 €/año



TRABAJO FIN DE GRADO  
 “Microturbina de biogás en E.D.A.R”

Concepto	Cantidad
Anteproyecto	- 8.000,00 €
Ayuda Feder	+ 4.000,00 €
Inversión inicial	- 339.419,45 €
Ayuda Feder	+ 66.000,00 €
Mantenimiento	- 13.194,00 €/año
Beneficio energía	+ 81.310,32 €/año
Ahorro potencia	+ 4.783,21 €/año

+ Pay-back:

$$Pay\ back = \frac{-8.000\ \text{€} - 339.419,15\ \text{€} + 4.000\ \text{€} + 66.000\ \text{€}}{81.310,32\ \text{€/año} + 4.783,21\ \text{€/año} - 13.194,00\ \text{€/año}}$$

$$Pay\ back = 3,81\ \text{años}$$

+ Valor Actualizado Neto (VAN):

Se considera un tipo de interés,  $k = 3\%$  y  $n = 5$  años.

Flujo/Año	0	1	2
Anteproyecto	-8.000,00 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	4.000,00 €	0,00 €	0,00 €
Inversión inicial	-339.419,45 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	66.000,00 €	0,00 €	0,00 €
Mantenimiento	0,00 €	-13.194,00 €	-13.194,00 €
Beneficio energía	0,00 €	81.310,32 €	81.310,32 €
Ahorro potencia	0,00 €	4.783,21 €	4.783,21 €

Flujo Total	-277.419,45 €	72.900,53 €	72.899,53 €
-------------	---------------	-------------	-------------

Flujo/Año	3	4	5
Anteproyecto	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Inversión inicial	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Ayuda FEDER	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Mantenimiento	-13.194,00 €	-13.194,00 €	-13.194,00 €
Beneficio energía	81.310,32 €	81.310,32 €	81.310,32 €
Ahorro potencia	4.783,21 €	4.783,21 €	4.783,21 €

Flujo Total	72.899,53 €	72.899,53 €	72.899,53 €
-------------	-------------	-------------	-------------



$$VAN = -277.419,45 \text{ €} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + 0,03)^1} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + 0,03)^2} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + 0,03)^3} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + 0,03)^4} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + 0,03)^5}$$

$$VAN (5 \text{ años}) = 56.440,02 \text{ €}$$

Siendo el VAN > 0, a 5 años de inversión, el proyecto es rentable.

+ Tasa Interna de Retorno (TIR):

$$-277.419,45 \text{ €} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + TIR)^1} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + TIR)^2} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + TIR)^3} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + TIR)^4} + \frac{72.900,53 \text{ €}}{(1 + TIR)^5} = 0$$

$$TIR (5 \text{ años}) = 6,65 \%$$

### 3.2. INDICADORES DE PRODUCTIVIDAD

A continuación, se realiza el estudio de los indicadores FEDER de las dos microturbinas de 65 kW, con una máquina a una carga parcial del 70%. Con estos indicadores se analizará la capacidad para producir energía renovable y la reducción de gases de efecto invernadero.

- Indicador Feder CO30: Capacidad adicional para producir energía renovable.

- Instalación de dos microturbinas de 65 kW con una máquina a plena carga y un segundo módulo al 70%:

+ Potencia instalada de 110,5 kW, teniendo en cuenta un rango de funcionamiento teórico de 24 horas diarias con unos días operativos de trabajo de 365 días al año:



$$110,5 \text{ kW} \cdot 24 \text{ h} \cdot 365 \text{ días} = 967.980 \text{ kWh/año}$$

+ Potencia instalada de 110,5 kW, teniendo en cuenta un rango de funcionamiento en el que se incluyan tareas de mantenimiento e incidencias de 8 horas diarias con unos días operativos de trabajo de 285 días al año:

$$110,5 \text{ kW} \cdot 8 \text{ h} \cdot 285 \text{ días} = 251.940 \text{ kWh/año}$$

- Indicador Feder CO34: Reducción anual estimada de gases de efecto invernadero.

Se tiene en cuenta un factor de conversión de energía no renovable de 0,521 kg CO<sub>2</sub>/kWh elaborado por IDAE y oficializado por MINETUR.

- Instalación de dos microturbinas de 65 kW con una maquina a plena carga y un segundo módulo al 70%:

+ Con respecto al valor estimado de producción de energía renovable de 967.980 kW h/año:

$$\begin{aligned} 967.980 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,521 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} &= 504.317,58 \text{ kg CO}_2 \\ &= 504,317 \text{ Tn equi. CO}_2 \end{aligned}$$

+ Con respecto al valor estimado de producción de energía renovable de 251.940 kWh/año:

$$\begin{aligned} 251.940 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \cdot 0,521 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}} &= 131.260,74 \text{ kg CO}_2 \\ &= 131,261 \text{ Tn equi. CO}_2 \end{aligned}$$



Tabla 16: Indicadores de productividad.

	1 microturbina al 100% y 2º módulo al 70%	
Horario Funcionamiento	24h/365d	8h/285d
Indicador CO30 (kWh/año)	967.980	251.940
Indicador CO34 (Tn equi. CO <sub>2</sub> )	504,317	131,261

### 3.3. DETERMINACIÓN DE LA VIABILIDAD DE LA INSTALACIÓN

Haciendo un análisis de los datos obtenidos en el estudio de viabilidad, la instalación de dos microturbinas de 65 kW, con una máquina a plena carga y un segundo módulo al 70%, se concluye como un proyecto viable.

Con la implantación de dos microturbinas, una máquina se mantendrá al 100% de carga y el segundo módulo tendrá una regulación al 70%. Se consigue una producción de energía eléctrica generada de 967.980 kWh/año, ajustada a la media de energía anual consumida en el análisis energético realizado entre los años 2014-2017.

El valor del periodo de amortización, el valor actual neto y la tasa interna de retorno se mantienen en valores fiables, tal y como aconseja la inversión.

Se considera una solución viable.



Tabla 17: Viabilidad de la instalación.

<b>DATOS</b> <b>EQUIPO</b>	Potencia instalada (kW)	Energía generada 24h/365d (kWh/año)	PayBack (años)	VAN (€)	TIR (%)
<b>1 microturbina al 100% y 2º módulo al 70%</b>	<b>110,5</b>	<b>967.980</b>	<b>3,81</b>	<b>56.440,02</b>	<b>6,65</b>

#### 4 ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE PRECIOS

En este proyecto se ha tomado para la realización de los cálculos un precio de referencia del kWh de 0,084 €/kWh. Para ello se ha realizado un análisis energético de los datos de partida, aportados por el cliente, entre los años 2014-2017 obteniendo dicho valor medio.

Sin embargo, el precio del kWh fluctúa con el mercado eléctrico y tiene una variación, la cual puede repercutir a nuestra inversión. Es por ello, por lo que debe de tenerse en cuenta una variación a la baja en el precio del kWh.

De este modo, se pretende realizar un estudio de la sensibilidad de precios del kWh en relación directa a su afección en el valor del TIR de la inversión. Mediante el análisis o el estudio, observaremos como varía la rentabilidad que nos ofrecía en un principio la inversión.

Para realizar el estudio de sensibilidad de precios, comenzamos estableciendo las reducciones del precio del kWh en los siguientes porcentajes: 5%, 10%, 15% y 20%, de modo que para cada valor de reducción obtenemos un nuevo valor TIR de la inversión.

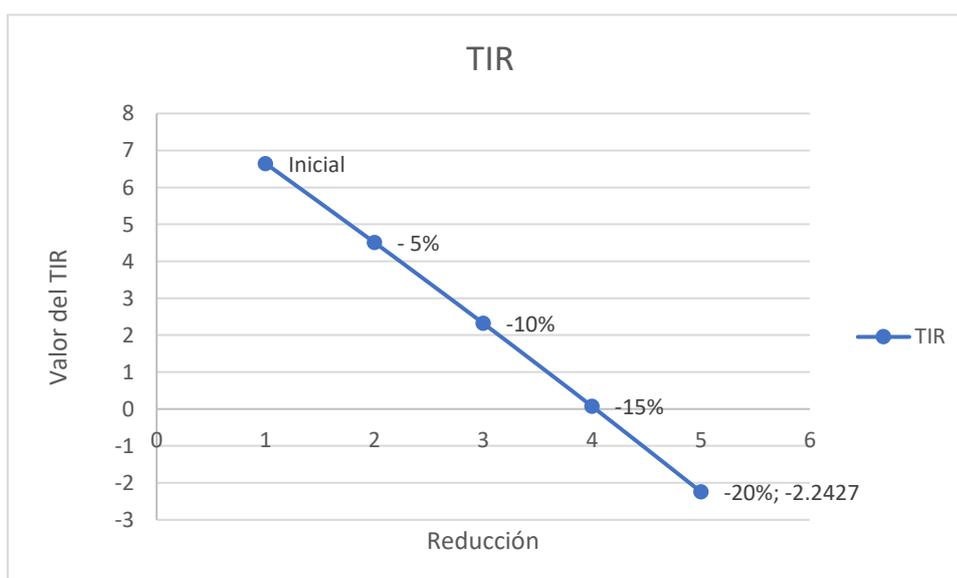
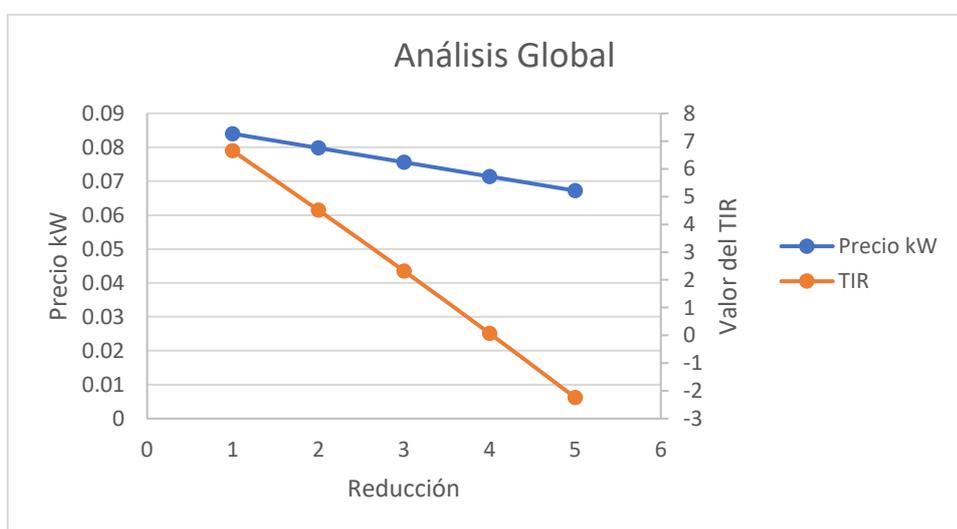


A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 18), se muestra la recopilación de datos calculados:

Tabla 18: Estudio de la sensibilidad de precios.

	Periodos		Precio kW (€)	TIR (%)
Reducción	1	Inicial	0.084	6.6492
	2	- 5%	0.0798	4.5106
	3	-10%	0.0756	2.3201
	4	-15%	0.0714	0.0715
	5	-20%	0.0672	-2.2427

En referencia de la tabla de datos, se realizará una representación de la evolución del TIR, es decir de la rentabilidad de la inversión, frente al precio del kWh en los periodos de reducción establecidos:





- Análisis global: en la primera gráfica se ha realizado una representación con tres ejes. En los ejes verticales se han representado el precio del kWh y el valor del TIR, frente al eje horizontal donde se establecen los periodos de reducción.
  - En la línea representada de azul, se observa la evolución descendente del precio del kWh con la aplicación de la reducción.
  - En la línea representada de naranja, se observa un brusco decrecimiento del valor del TIR para los valores de reducción establecidos. Vemos como a cada periodo de reducción, la rentabilidad de la inversión decrece.  
Llegados a una reducción del 10% en el precio del kWh, la rentabilidad de la inversión tiene un valor menor de la mitad del valor inicial del TIR, observamos una fuerte pendiente decreciente.  
Para una reducción del 20% en el precio del kWh, llegamos a valores negativos de la inversión, donde, desde el punto de vista económico, no sería interesante realizar el proyecto.
- TIR: en la segunda gráfica se ha realizado una representación aislada del valor del TIR, en el eje vertical, frente a los periodos de reducción, en el eje horizontal.
  - En la línea representada de azul, se observa el fuerte decremento de la rentabilidad de la inversión en los porcentajes de reducción aplicados al kWh.

Se concluye, que para un valor de reducción del precio del kWh del 15%, la rentabilidad de la inversión es muy próxima al cero por ciento. Se determinaría como el valor máximo al cual podría llegar a reducirse el precio del kWh, para que la inversión tuviese una rentabilidad económica en el estudio realizado a 5 años vista.



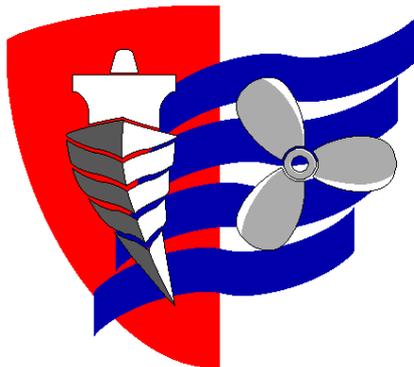
TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



Debemos de tener en cuenta, que la vida útil de este tipo de instalaciones se estima a 15 años, determinándose como un periodo suficiente para la amortización de la instalación si el precio del kWh no se devalúa por debajo del 15 % del precio inicial estimado de 0,084 €.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



## 5 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Atendiendo al trabajo expuesto en el presente proyecto, se propone una futura línea de investigación como continuación del estudio de la valorización y del aprovechamiento energético de subproductos generados de procesos primarios.

Dicha línea de investigación se podrá aplicar a la industria ganadera y agrícola de “Loredo”, “Langre” y “Castanedo”, pertenecientes a la comunidad autónoma de Cantabria.

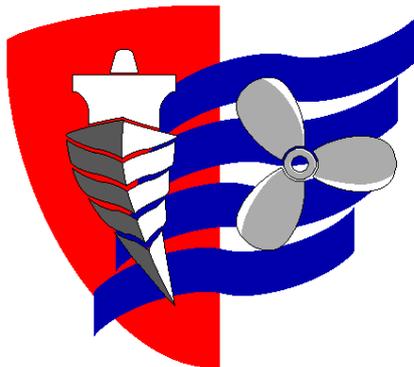
En dichas localizaciones, y en sus alrededores, se encuentran un conjunto de estabulaciones y explotaciones agrícolas. En cada explotación cada unidad de ganado mayor, puede llegar a producir una media de 90 L/día en sus deyecciones, además de la acumulación de residuos orgánicos de la planta. Estos deshechos tradicionalmente han sido aplicados en el campo como fertilizante, generando grandes problemas de contaminación de las aguas subterráneas debido a su composición, especialmente centrado en el nitrógeno amoniacal. Actualmente se busca la eliminación de su aplicación directa y se buscan nuevas líneas de estudio en las cuales se realice una valorización energética de los purines y de la materia orgánica producida.

Con ello se propone realizar una asociación de ganaderos y agricultores de todo el área planteado, quienes gestionen los desechos orgánicos que sus explotaciones producen, dando lugar a un sistema centralizado. De este modo se busca la realización de una planta para el tratamiento de purines y residuos orgánicos, en la que se lleve a cabo una recolección por las explotaciones de los purines excedentes.

En la planta se realizará la digestión anaerobia de los purines, dónde se generará biogás para la producción de energía eléctrica y calorífica, así como se tratará el producto digerido generado para un posterior uso como fertilizante en campo e invernaderos.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**PLANOS**

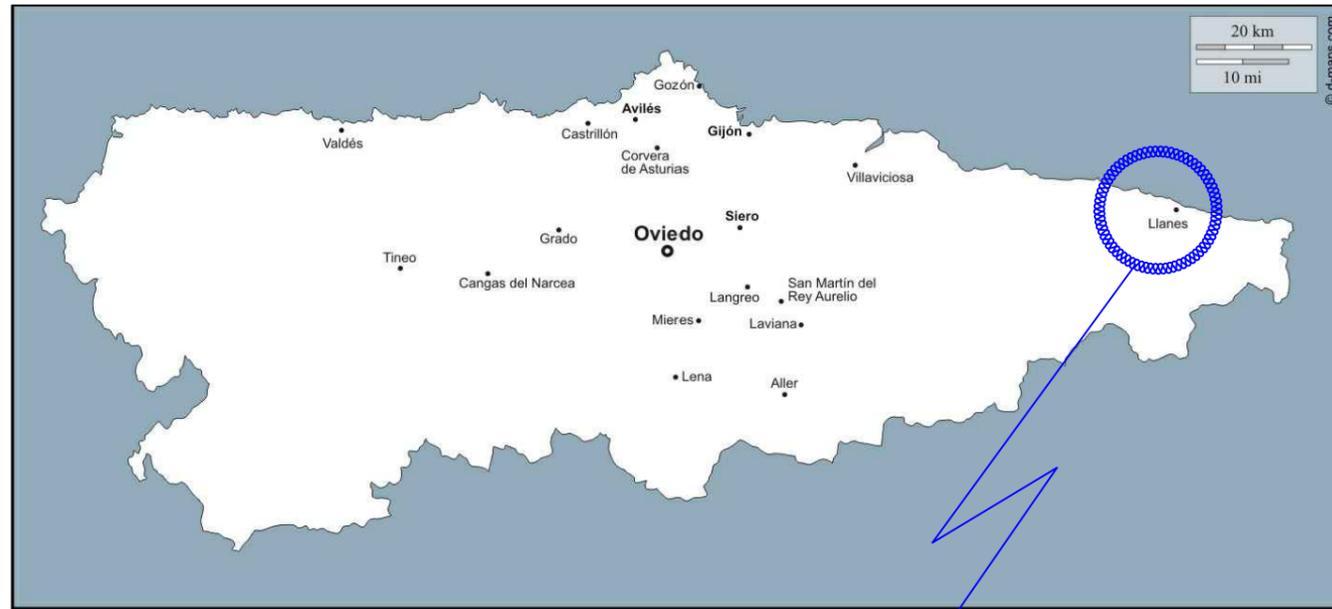


## 6 PLANOS

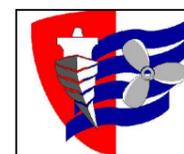
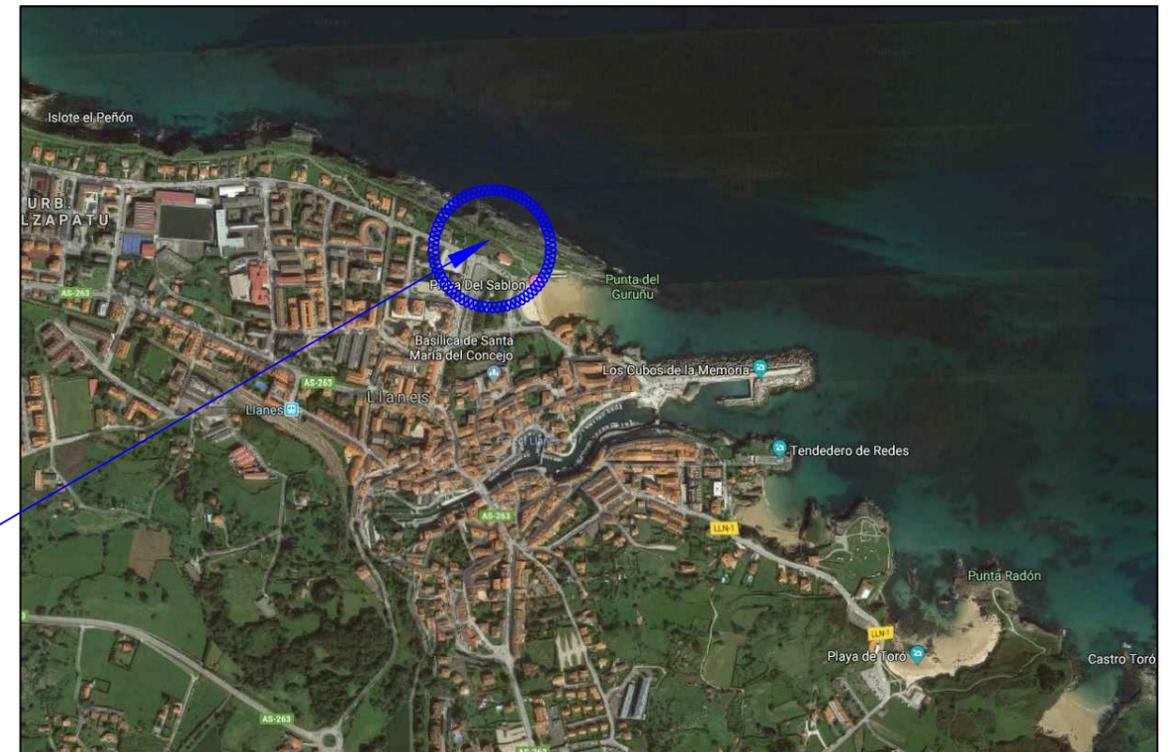
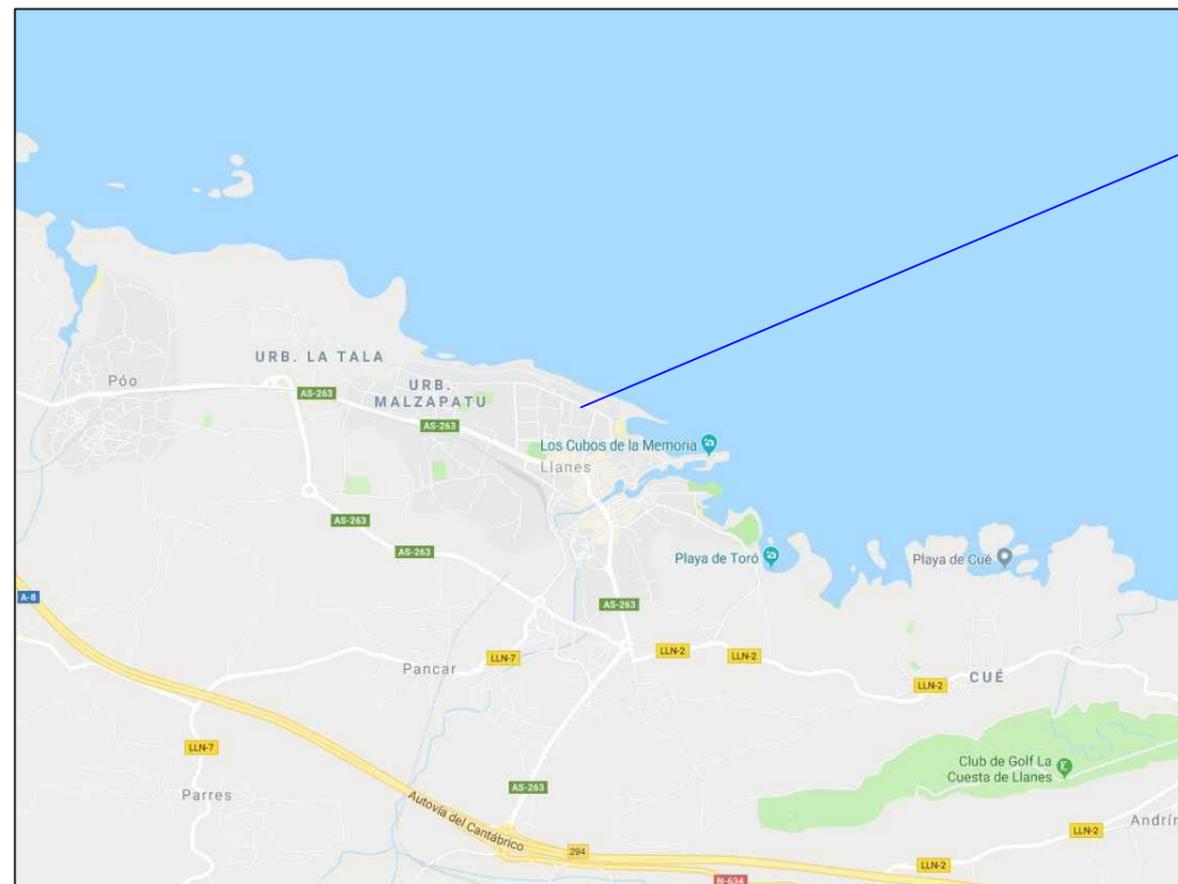
Nº de planos	Edición	Designación	Dimensiones
6	J.L	Vista general/Detalle	A3

### Índice de planos

Plano 01.....	Situación
Plano 02.....	Emplazamiento
Plano 03.....	Planta general E.D.A.R
Plano 04.....	Vista 3D planta cogeneración
Plano 05.....	Planta general cogeneración
Plano 06.....	Esquema de principio



Llanes (Asturias)



E.T.S. NÁUTICA  
SANTANDER

Diseñado por: **Julio Lavandero Rincón**  
Proyecto: **Microturbina de biogás en E.D.A.R.**

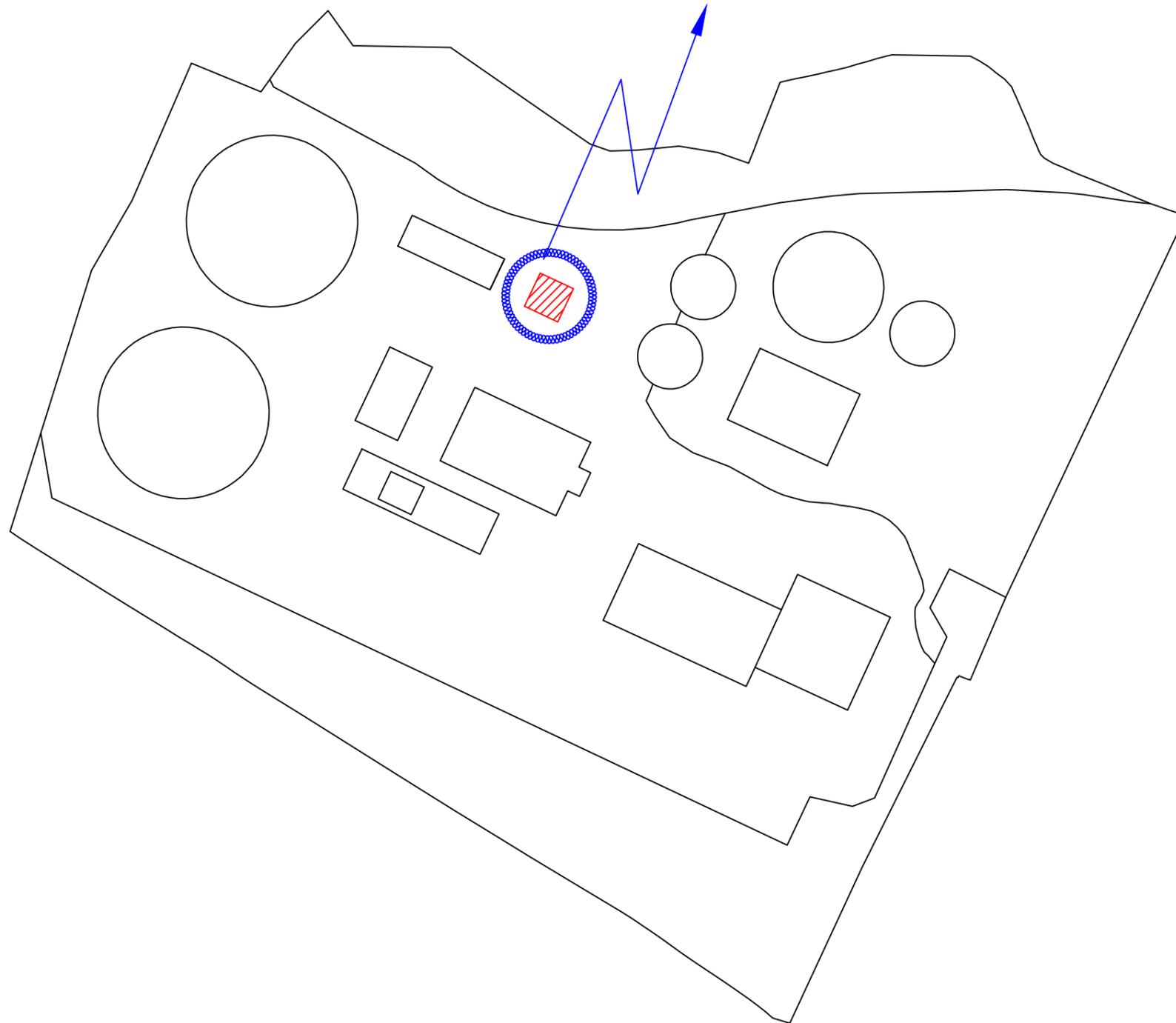
Nombre: **01 Situación**  
Fecha: **07/09/2018**

Escala: **s/e**

Nº hoja: **01**

Form: **A3**  
Sigte: **02**

EMPLAZAMIENTO



E.T.S. NÁUTICA  
SANTANDER

Diseñado por: Julio Lavadero Rincón  
Proyecto: Microturbina de biogás en E.D.A.R.

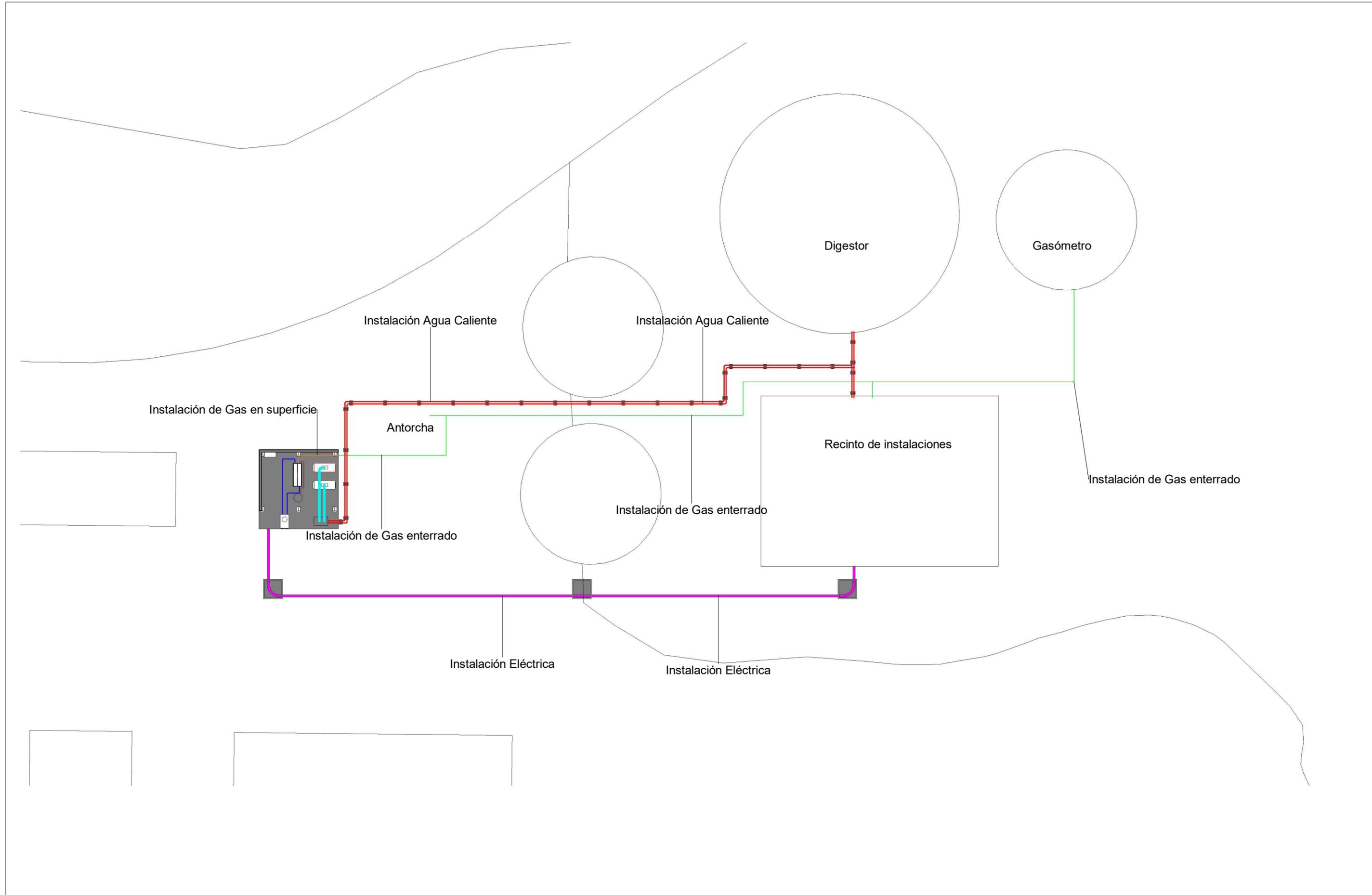
Nombre: 02 Emplazamiento  
Fecha: 07/09/2018

Escala: s/e

Nº hoja: 02

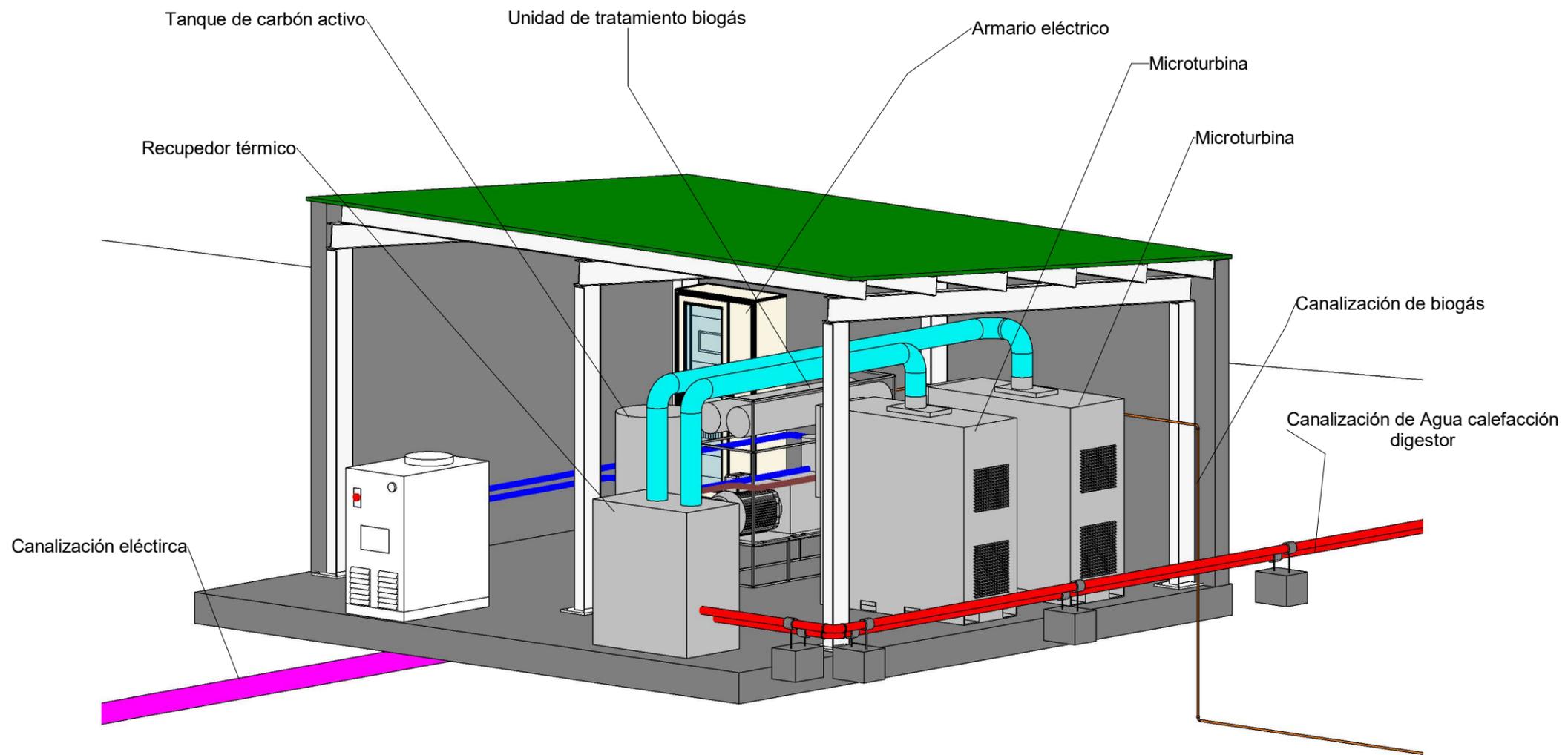
Form: A3

Sigte: 03



E.T.S. NÁUTICA  
SANTANDER

Diseñado por: Julio Lavadero Rincón	
Proyecto: Microturbina de biogás en E.D.A.R.	
Nombre: 03 Planta general E.D.A.R.	
Fecha: 07/09/2018	Form: A3
Escala: 1 : 300	Nº hoja: 03 Sigte: 04



E.T.S. NÁUTICA  
SANTANDER

Diseñado por: Julio Lavandero Rincón  
Proyecto: Microturbina de biogás en E.D.A.R.

Nombre: 04 Vista 3D planta cogeneración

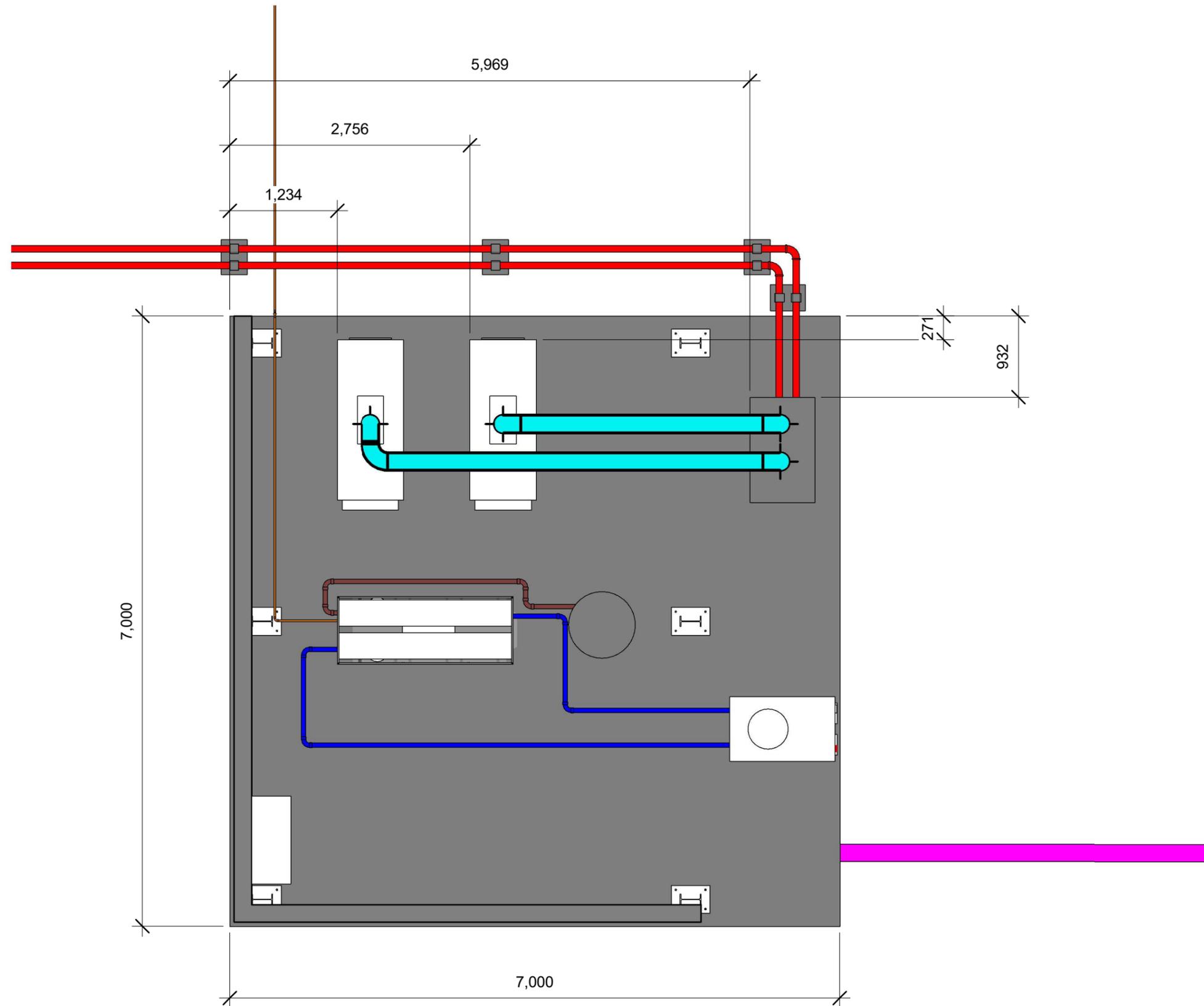
Fecha: 07/09/2018

Escala:

Nº hoja: 04

Form: A3

Sigte: 05



E.T.S. NÁUTICA  
SANTANDER

Diseñado por: Julio Lavandero Rincón  
Proyecto: Microturbina de biogás en E.D.A.R.

Nombre: 05 Planta general cogeneración

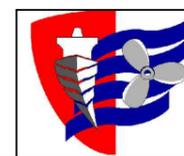
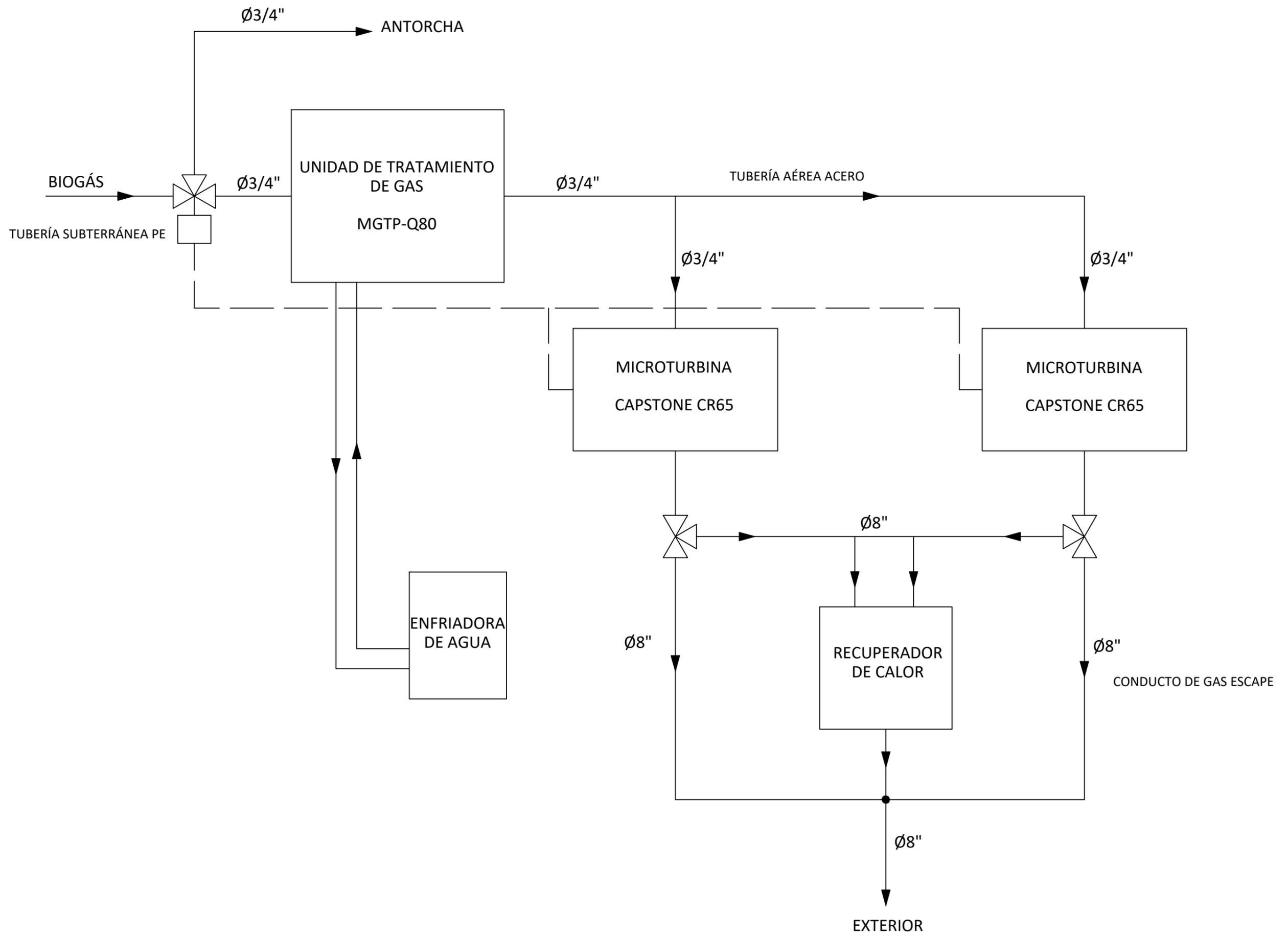
Fecha: 07/09/2018

Escala: 1 : 50

Form: A3

Nº hoja: 05

Sigte: 06



E.T.S. NÁUTICA  
SANTANDER

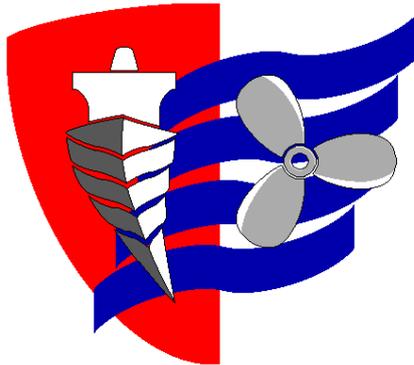
Diseñado por: **Julio Lavadero Rincón**  
 Proyecto: **Microturbina de biogás en E.D.A.R.**  
 Nombre: **06 Esquema de principio**  
 Fecha: **07/09/2018**  
 Escala: **s/e**

Nº hoja: **06**

Form: **A3**  
 Sigte: **--**



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**PLIEGO DE CONDICIONES**



## 7 PLIEGO DE CONDICIONES

### 7.1 CONDICIONES GENERALES

#### 7.1.1 DESCRIPCIÓN PRELIMINAR

En el desarrollo del siguiente pliego de condiciones, se consideran las diferentes cláusulas referentes a la obra civil de la instalación y la implantación de las microturbinas y equipos auxiliares, para el montaje de todas las partes constructivas de la nueva planta generadora, cuyas características, planos, obras y presupuesto final, se adjuntan en los apartados correspondientes del proyecto, con el fin de determinar el montaje completo de la instalación y asegurar su posterior correcto funcionamiento.

Los materiales empleados en la ejecución de las obras, cumplirán con las especificaciones previamente calculadas y estarán especificadas en el presente pliego de condiciones. El Ingeniero Director de las obras, deberá de aprobar el empleo de dichos materiales y aplicar su criterio, en consenso con el Ingeniero de diseño, para establecer y concretar aquellos materiales cuya especificación no se haya realizado o sea necesaria para la construcción.

Las obras accesorias, que por su naturaleza inusual no han sido previstas a la hora de realizar el proyecto, serán eximidas de cumplimiento y no estarán contempladas. Si fuese necesariamente estricta su ejecución, se realizará un estudio y un análisis de soluciones particular, estableciendo una partida presupuestaria independiente como aliciente del proyecto inicial. El Adjudicatario estará obligado a realizarlas con estricta sujeción de las órdenes que, al efecto, reciba del Ingeniero Director de Obra, el cual tendrá plenas atribuciones para sancionar la idoneidad de los sistemas empleados.



La ubicación para la integración de la instalación dentro de la Estación Depuradora de Aguas Residuales, ha sido consensada con el cliente y ha sido destinado un área de implantación. No se contemplará el redimensionamiento en la ejecución de la obra civil para la implantación de equipos debido a un cambio de la zona de instalación.

Una vez realizada la construcción e instalados los equipos, se llevará a cabo la puesta en marcha para garantizar la correcta operatividad de las microturbinas y su correcta adecuación a la instalación actual.

### 7.1.2      NORMATIVA GENERAL A CUMPLIR

En referencia al ámbito de aplicación técnica, deben de emplearse de modo eficiente las diferentes normas e instrucciones bajo las cuales se ha realizado el proyecto, quienes garanticen el buen diseño de la instalación para su correcta aplicación. En caso de que estas normativas discrepen para un mismo concepto o desarrollo, será de aplicación la normativa más estricta y con un mayor rango legal, la cual prevalecerá sobre las demás. En caso de incertidumbre en la aplicación, quedará a decisión de la dirección de obra y de la empresa a quien se realice el proyecto, que normativa ha de ser aplicada en cada circunstancia.

Las normativas e instrucciones aplicadas para el diseño de la instalación y aplicación técnica son las siguientes:

- Normativa Europea EN.
- Normativa UNE.
- Directiva CE, de conformidad europea.
- Reales decretos correspondientes al ámbito aplicable.
- Normativa ATEX.
- Otras normas y reglamentaciones (ICG, SCIEI)



En caso de la existencia de ciertas disconformidades entre las normativas seguidas y el presente proyecto, será indicado lo aplicado en el diseño y creación del intercambiador de calor, exceptuando la invalidez de dicha aplicación por otras disposiciones legales.

### 7.1.3 REFERENCIA A DOCUMENTOS CONTRACTUALES

Los documentos que definen el presente proyecto son los planos, el pliego de condiciones y el presupuesto final, los documentos anexos únicamente son empleados para respaldar, justificar e informar sobre la base teórica, estudios de aplicación y viabilidad para la realización de la nueva planta de microturbinado, así como la selección y empleo de los diferentes equipos y componentes.

Se denominarán elementos contractuales a los planos, al pliego de condiciones y al presupuesto, ya que estos determinarán en última instancia el proyecto ejecutivo, el cual se apoya sobre documentación anexa.

- El pliego de “prescripciones técnicas particulares” establece la definición de las obras, en cuanto a su naturaleza y a las características físicas y mecánicas de los elementos que forman parte de la instalación. En adición al pliego de condiciones, completa la información técnica bajo las que se acogen las condiciones del proyecto.
- Los “planos”, constituyen la documentación gráfica que definen las obras a realizar. Es un anexo en el que se puede visualizar gráficamente la planta de microturbinado y generación eléctrica, junto con sus medidas y ciertas especificaciones.



En caso de contradicción entre los planos y el pliego de condiciones, prevalecerá lo regulado en este último documento. Lo relativo a los planos y lo que es omitido en el pliego de condiciones, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviera expuesto en ambos documentos. En cualquier instancia, ambos documentos prevalecen con respecto a los documentos anexos de carácter general.

Cualquier cambio en el planteamiento de la obra, lo cual implique una alteración de lo proyectado, se pondrá en conocimiento de la Dirección Técnica para que lo apruebe y redacte un añadido al proyecto, si procede, el cual antes de ser ejecutado debe de ser aprobado.

## **7.2 CONDICIONES EJECUCIÓN**

La empresa contratada para el suministro e implantación de las microturbinas, se compromete al suministro del material, la mano de obra, herramientas y equipos auxiliares que sean necesarios para la correcta ejecución de la obra proyectada según los presentes documentos contractuales.

Todas las variaciones del proyecto, las cuales estime oportunas el contratista una vez aceptado el presupuesto, deberán de ser examinadas por la empresa contratada. En el caso de ser considerado la existencia de un detrimento, se le informará al contratista de que no entra en el presente presupuesto y por consiguiente debe ser abonado aparte, siendo el contratista el que tome la decisión de acometer o no esa obra.

En caso de la subcontratación de servicios por la empresa contratada a segundos para la realización del proyecto, la empresa contratada se compromete a informar de ello a la empresa contratante para que tenga conocimiento de esta eventualidad.

Del mismo modo, la empresa contratada corresponderá con el trabajo de



las empresas que esta tenga en subcontratación. Para asegurarse que toda obra subcontratada y ejecutada, cumpla con lo detallado en cuanto a calidades y aplicación de la normativa, la empresa contratada solicitará a la empresa subcontratada un informe de fin de obra donde se detalla la obra realizada, con todos los elementos instalados, las inspecciones realizadas y un parte de incidencias desde el inicio de la obra hasta su entrega.

La empresa contratada realizara las inspecciones que crea conveniente para verificar que lo relatado en el informe fin de obra de la empresa subcontratada se ajusta a la realidad y a normativa, en caso de detectar alguna discrepancia o algún error en la obra ejecutada, se le requerirá a la empresa subcontratada su subsanación, procediéndose a repetir las inspecciones la empresa contratada hasta que considere que la obra subcontratada se encuentra perfectamente ejecutada atendiéndose a lo detallado en los planos y la normativa, dándose por concluido el contrato de subcontratación de obra, pero requiriéndole a la empresa subcontratada una garantía de obra, si y solo si se detectan errores en la obra realizada.

Una vez suministrados los materiales y equipos serán protegidos de golpes y de los agentes atmosféricos o químicos, para evitar daños antes de la inspección de los elementos de la obra para su entrega al contratista. Cuando sea realizada la extracción de los elementos de protección de los materiales y equipos, se aprovechará la revisión e inspección para verificar el buen estado y para detectar posibles fallos que pudieron ser pasados por alto en el momento de la instalación o que puedan haber aparecido debido a las pruebas de la instalación.

El trabajo será realizado utilizando los materiales y equipos de la calidad detallada en el proyecto, en el caso de no poder obtenerse dichos materiales o equipos podrán ser instalados otros de calidad similar si la empresa contratante de su visto bueno.



La empresa contratante podrá realizar las inspecciones que considere oportunas, sin tener que informar a la empresa contratada, se concertará una cita con el jefe de obra que convenga a ambas partes, dicha inspección no debe provocar perjuicio a la marcha de la obra. El inspector o inspectores deben presentarse en la obra correctamente equipados para la realización de la inspección.

Los inspectores deberán presentarse ante el jefe de obra que, junto con el jefe de seguridad de la obra, los acompañará durante toda la inspección para cerciorarse de que no se produzcan déficits en la seguridad que puedan poner en peligro a los inspectores y a los trabajadores.

Los inspectores en caso de detectar alguna incidencia pueden solicitar explicaciones a la empresa contratada sobre dicha incidencia y solicitar que sea subsanada con la mayor brevedad posible, siendo esta incidencia objeto de supervisión en inspecciones posteriores.

Durante la ejecución de la obra se realizará un parte de incidencias que será entregado a la empresa contratante, a la finalización de la obra.

El fin del periodo de ejecución de la obra se determina cuando la empresa contratada le entrega la documentación de final de obra, a la empresa contratante.

### **7.3 CONDICIONES DE LOS MATERIALES A EMPLEAR**

Todos aquellos materiales, los cuales entren a formar parte de las obras, cumplirán con los requisitos de la normativa actual vigente de construcción, y deberán de ser previamente aprobados por el Ingeniero Director de las obras.

Los materiales para los que no se haya especificado ninguna consideración, serán empleados de la mejor calidad entre los de su clase,



para garantizar una adecuada finalización de la obra y una posterior vida útil del equipo.

Cualquier modificación o elección de un material diferente a la presente selección de materiales, en la documentación de la obra deberá de ser indicado, así como previamente deberá de ser informado al personal técnico responsable de la supervisión del mismo.

Las modificaciones a realizar en la selección de los materiales base para la fabricación de la placa y del tejadillo, así como la posterior implantación de las microturbinas y sus equipos auxiliares, deberán de cumplir con las condiciones y la normativa expuesta en la documentación del proyecto.

No se utilizarán en una misma pieza distintas calidades de material, así como ni distintos tipos de materiales que favorezcan la generación de pares galvánicos.

Los espesores de los materiales a emplear, serán estudiados mediante los cálculos pertinentes por la empresa contratada fabricantes de las microturbinas, y estos tendrán unos valores mínimos especificados según normativa aplicable.

Estos aceros no deberán de presentar defectos internos, superficiales o aparición de grietas, sin embargo para asegurar su idoneidad, se someterán a ensayos no destructivos para detectar posibles fallos y defectología interna en el material. Los defectos superficiales que puedan ser subsanados sin descartar la pieza de material.

#### **7.4 DESCRIPCIÓN DE LAS OBRAS**

La planta de valorización energética, en su conjunto se compone de los siguientes elementos o equipos principales:



- Microturbinas de biogás (2 Ud).
- Sistema unidad de tratamiento de biogás (UTB).
- Sistema de recuperación de calor (HRM).
- Equipos auxiliares: enfriadora.
- Cuadro de potencia, de control y de maniobra.
- Compresor o soplante para el biogás.

Estas partes, deberán de fabricarse por separado cumpliendo la diferente normativa aplicable. Para su correcta fabricación, se deberán seguir los planos de ejecución de la obra y producción.

Los planos adjuntos son planos de diseño de la planta y únicamente son orientativos para la ubicación y distribución de equipos. En ningún momento podrán usarse como planos de fabricación.

#### 7.4.1 OBRA CIVIL

En la obra civil se desarrollarán procedimientos que incluye todas las operaciones necesarias para la realización de la estructura a base de perfiles metálicos para el soporte de la cubierta metálica y pórticos para conductos. Así como los procedimientos que incluye todas las operaciones necesarias para la realización de la cubierta metálica para protección de equipos de la planta.

A continuación, se detalla la relación de maquinaria y equipos empleados:



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



- Grúas.
- Andamios.
- Plataformas elevadoras.
- Carretilla elevadora.
- Soldadura eléctrica.
- Maquinillas y polipastos.
- Herramientas manuales.

Los riesgos y medidas preventivas relativos a utilización de maquinaria y medios auxiliares, así como descarga y asentamiento de equipos deben de ser realizados según normativa de seguridad.

Debe hacerse uso de: casco de seguridad en toda la obra, botas de seguridad con suela antideslizante, plantilla y puntera en toda la obra.

Todo el personal que maneje maquinaria deberá estar autorizado por su empresa y disponer de la formación reglamentaria en su uso. Los soldadores deben de ser homologados.

Los vehículos accederán a la obra por el acceso habilitado para vehículos, a una velocidad máxima de 5 Km/h. Se prohíbe expresamente la permanencia de personas a menos de 5 m (como norma general) del radio de acción de la máquina, en prevención de los riesgos de golpes o de atrapamiento. Así como, que siempre que un vehículo parado inicie un movimiento lo anunciará con una señal acústica.

Se prohíbe el paso de cargas sobre el personal.



No se realizarán trabajos en la misma vertical. Se delimitará la proyección vertical de trabajos de soldadura y de trabajos con riesgo de caída de objetos.

Todos los bordes de forjado y huecos con riesgo de caída a más de dos metros, se protegerán con barandilla o alternativamente, se dispondrán redes y otras protecciones.

Uso obligatorio de arnés de seguridad en todos los trabajos que pueda existir riesgo de caída a doble altura de más de dos metros. Se establecerán con anterioridad a la realización de los trabajos los puntos fuertes o líneas de vida necesarios para la sujeción del arnés, en caso contrario no se iniciará el trabajo.

Las escaleras de mano a utilizar serán de tipo “tijera”, dotada con zapatas antideslizantes y cadenilla limitadora de apertura, para evitar los riesgos por trabajos realizados sobre superficies inseguras y estrechas.

Se prohibirá la formación de andamios utilizando escaleras de mano a modo de borriquetas, para evitar los riesgos por trabajos sobre superficies inseguras y estrechas.

Se prohibirá en general en esta obra, la utilización de escaleras de mano, en lugares con riesgo de caída desde altura (p.ej: zonas anexas a escaleras o a barandillas sin ninguna otra protección), si antes no se han instalado las protecciones de seguridad adecuadas (redes, líneas de vida, etc).

Se tendrá especial cuidado en trabajos en cubiertas con circunstancias meteorológicas adversas (lluvias, heladas, viento, etc.), y si el nivel de riesgo es alto se suspenderá la instalación.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Uso de gafas o pantalla facial con filtro en trabajos de soldadura, incluido el ayudante.

En los trabajos de soldadura deberá disponerse de un extintor próximo a la zona de trabajo. No se realizará trabajos de soldadura en lugares próximos a materiales combustibles. Se prohíbe abandonar los mecheros y sopletes encendidos.

Uso de máscara de protección respiratoria FFP3 en trabajos de soldadura.

Las zonas de soldadura contarán con una buena ventilación o se instalará un sistema de ventilación o de extracción forzada.

Uso de guantes de protección térmica y mandil o ropa ignífuga de manga larga en trabajos de soldadura.

Se controlará la dirección de la llama durante las operaciones de soldadura en evitación de incendios.

Se evitará soldar con las botellas o bombonas de gases licuados expuestos al sol.

Las bombonas de gases se mantendrán en posición vertical y se almacenarán en zonas bien ventiladas, lejos de fuentes de calor o de la exposición solar.

Los trabajos de elevación de cargas serán realizados con medios mecánicos operados por trabajadores con la formación correspondiente según el equipo y con la supervisión de un recurso preventivo.

Las cargas no se levantarán ni se desplazarán hasta que no se haya



asegurado que están perfectamente sujetas y estables.

Se comprobará el estado de ganchos, cables, etc. de los medios auxiliares de elevación.

#### 7.4.2 INSTALACIÓN ELÉCTRICA BAJA TENSIÓN

Procedimiento consistente en la colocación de los tubos de canalización eléctrica en el interior de la zanja, colocación de las placas de señalización y el posterior tendido del cableado una vez cubierta la zanja.

Se incluye en esta unidad de obra las operaciones necesarias para la colocación de la instalación interior, tanto la colocación de tubos y bandejas, tendido de cables y conexionado, instalación del cuadro general e interruptores de potencia, puntos de luz, conexiones y cajas de maniobra, por las canalizaciones establecidas en los planos y según las especificaciones técnicas del proyecto. La instalación se realizará de conformidad con el REBT.

- Maquinillas y polipastos.
- Herramientas manuales.
- Plataforma elevadora.
- Radiales eléctricas.
- Taladros eléctricos.
- Atornilladores eléctricos.
- Escalera de mano.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Se prohíbe el paso de cargas sobre personal. Se impedirá el paso en áreas de alcance de grúas en operación.

En todo momento se mantendrán las zonas de trabajo limpias y ordenadas. Retirada diaria de escombros a contenedores.

No realizar trabajos en zanjas sin apuntalar de más de 1.6 m de profundidad o menos si el terreno está poco compactado.

No se permite que en las inmediaciones de las zanjas haya acopios de materiales a una distancia inferior a 1,5 m del borde, en prevención de los vuelcos o deslizamientos por sobrecarga.

Se dispondrá de escaleras manuales que estarán en perfectas condiciones de uso y cumplirán con la normativa vigente en cuanto a escaleras manuales. Bajo ningún concepto, en las zanjas con entibación se permitirá el uso de los codales y de la propia entibación como medio para subir o bajar a las zanjas, y no se utilizarán estos elementos como soporte de cargas, tales como conducciones, etc.

En presencia de lluvia o de nivel freático alto, se vigilará el comportamiento de los taludes en prevención de derrumbamientos sobre los operarios. Se ejecutarán lo antes posible los achiques necesarios. Al finalizar los trabajos se cubrirá la excavación con una lona o similar para evitar posibles desprendimientos de tierra a causa de la lluvia.

En presencia de riesgo de vuelco o deslizamiento de un talud límite de una zanja se dará la orden de desalojo inmediato y se acordonará la zona en prevención de accidentes.

Uso de gafas de seguridad contra impactos siempre que exista riesgo de proyección de partículas o fragmentos y siempre que se especifique en el



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



apartado “Equipos técnicos” para el uso de cada máquina o herramienta. Se evitará situarse en frente de los tubos para evitar golpes con cables que se estén tendiendo.

Uso de guantes de seguridad mecánicos en manipulación manual y siempre que exista riesgo de cortes o golpes por objetos o herramientas según se especifica en el apartado “Equipos técnicos” para el uso de cada máquina o herramienta. Uso de guantes en manejo de cables y guías para evitar cortes.

Efectuar las operaciones en el orden preestablecido para evitar golpes y tropiezos.

Los trabajos estarán bien iluminados, entre los 200-300 lux.

Todas las partes móviles de máquinas y equipos se mantendrán encerradas bajo envolvente y se abalizarán las zonas de alcance.

No usar ropa suelta, cabello largo, anillos, pulseras y relojes durante el trabajo.

Todo el personal utilizará ropa de alta visibilidad.

El tendido de conductores eléctricos se realizará siempre sin tensión.

Todas las máquinas accionadas eléctricamente dispondrán de doble aislamiento o tendrán sus correspondientes protecciones a tierra e interruptores diferenciales, manteniendo en buen estado todas las conexiones y cables.

Todos los equipos eléctricos portátiles serán desconectados y recogidos después de ser utilizados y en todo caso, al finalizar su jornada y antes de



abandonar la obra.

En general los trabajos de instalación los trabajos de instalación eléctrica se realizan sin tensión puesto que en todo momento se mantiene la instalación en ejecución sin tensión y se utiliza una instalación provisional eléctrica separada para evitar cualquier contacto eléctrico.

Sin embargo, existen trabajos que por su propia naturaleza deben realizarse en proximidad de tensión, como son las mediciones durante los trabajos de puesta en marcha y los trabajos de mantenimiento de la propia instalación provisional eléctrica.

Todos los trabajos eléctricos, siempre que sea posible, se realizarán en ausencia de tensión y siempre respetando las 5 siguientes reglas de Oro. Especialmente siempre que deba trabajarse en una instalación que haya estado en servicio (toda instalación se considerará en tensión si no se demuestra lo contrario).

1. Aislar de cualquier posible fuente de alimentación la parte de la instalación en la que se va a trabajar, mediante la apertura visible los elementos de corte y seccionamiento más próximos a la zona de trabajo.

2. Bloquear en posición de apertura, si es posible, cada uno de los aparatos de seccionamiento, colocando en su mando un letrero con la prohibición de maniobrarlo.

Utilizar sistemas de bloqueo de conexiones eléctricas con señalización para evitar puestas en tensión inadvertidas.

3. Comprobar, mediante un verificador, la ausencia de tensión en cada una de las partes eléctricamente separadas de la instalación (fases, neutro, ambos extremos de fusibles o bornes, etc.).



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



4. Siempre que sea posible se cortocircuitarán las diferentes fases, por la parte sin tensión, y se conectará a tierra.

5. No se restablecerá el servicio al finalizar los trabajos, sin comprobar que no existen personas trabajando.

Los trabajos de medición y verificación de instalaciones lo realizará personal cualificado de acuerdo con el RD614/2001, utilizando equipos de protección individual y herramientas aislados adecuados a la tensión existente.

En el caso de realizarse los trabajos en tensión (distintos de los trabajos de medición y verificación de instalaciones) se realizará un anexo a este plan para contemplarlo, el trabajo será realizado por personal cualificado, bajo procedimiento controlado y supervisado “in situ” por un jefe de trabajo (una vez aprobado el mismo por el coordinador de seguridad) y además de utilizar el equipo de protección personal (casco, gafas inactivas, calzado aislante, ropa ignífuga, etc.) se empleará en cada caso el material de seguridad adecuado: guantes aislantes, banquetas aislantes, herramientas de apoyo aislantes...

En régimen de lluvia, nieve o hielo se suspenderá el trabajo cercano a líneas o aparentemente a la intemperie.

Cuidado, los bornes de entrada del interruptor general del cuadro puede seguir en tensión, aunque el interruptor este en posición abierto (desconectado). En cuadros con dos interruptores generales, algunas partes interiores del cuadro seguirán en tensión si no se han abierto (desconectado) ambos interruptores generales del cuadro.



### 7.4.3 IMPLANTACIÓN DE EQUIPOS

La descripción formal de la central de cogeneración tiene por objeto describir las propiedades estructurales de la planta y su disposición física en el espacio ocupado. Es decir, se plantea describir la implantación de equipos dentro de la nueva planta de valorización energética.

Los aspectos formales de más relevancia en la central de cogeneración son los siguientes:

1. Espacios ocupados y áreas de intervención.
2. Implantación de Equipos Principales (plantas y alzados).
3. Interconexiones entre áreas y trazados básicos de tuberías, conductos, cables, etc.

Todas las medidas aportadas se han preparado en base a los requisitos de la propiedad y se ha realizado el diseño para conseguir que el sistema sea:

- Fácilmente operado y seguro para las personas y los equipos.
- Fácilmente construible en los espacios previstos para su ubicación.
- Mantenibles, supervisables y accesibles, procurando facilidades de desmontaje de aquellos sistemas que lo requieran.
- Estéticamente aceptable y acorde con el entorno de la E.D.A.R

En el apartado de ubicación y localización del presente proyecto se han señalado las principales áreas del recinto de la E.D.A.R de Llanes que quedarán afectadas por la realización del proyecto, bien por ocupación de espacios o bien por la interconexión con otros sistemas.



Para ello, se ha previsto ocupar el espacio disponible al lado de la antorcha y en la parte adjunta al tratamiento terciario eliminación de fósforo. De todas las energías a transportar el calor es la que tiene más pérdidas con la distancia por lo que la ubicación de la planta al lado del colector donde se conectarán las tuberías de entrada y salida de la HRM ayudará a minimizarlas.

Las actuaciones eléctricas y mecánicas a realizar en esta área consistirán principalmente en:

- Interconexión entre los equipos principales (microturbinas, unidad de tratamiento de biogás, recuperador de calor, el enfriador de agua para secado del biogás) ubicados en el área de implantación.
- Conexión en baja tensión (400 V), del cuadro eléctrico de la planta de cogeneración con el cuadro de potencia de la E.D.A.R.
- Conexión de la tubería de agua fresca procedente del edificio de servicios adyacente, al circuito cerrado de agua de la unidad enfriadora.
- Conexión de las tuberías de agua caliente, procedentes del circuito del intercambiador lodos / agua caliente, al generador de agua caliente por recuperación, intercambiador de calor gases / agua.
- Picaje en el conducto de biogás procedente del gasómetro que se dirige a las calderas y conexión, previo paso por la soplante, con la rampa de entrada de biogás de la Unidad de Tratamiento de Biogás, UTB.



## 7.5 PLAZOS DE PAGO

Todas las unidades de obras se medirán y abonarán por su volumen, superficie, longitud, peso o número, según figuran especificadas en el Presupuesto del presente proyecto.

Por otro lado, el equipo de turbinado y sus equipos auxiliares serán especificados por el fabricante.

La valoración deberá obtenerse aplicando las diversas unidades de obra en las partidas presupuestarias. Si el Contratista construye mayor volumen de cualquier elemento del que corresponde a los dibujos que figuran en los Planos, o en sus reformas autorizadas, será reflejado en el presupuesto.

La cantidad final de lo presupuestado debe ser íntegramente aportado a la finalización de la obra, pero se establecerán una serie de plazos, que deben ser cumplidos por la empresa contratante, con el fin de satisfacer los gastos derivados de la ejecución de la obra.

Tabla 19: Cuantías correspondientes a los plazos.

Plazos	Cuantía (%)
Aprobación del presupuesto	20 %
Comienzo de la obra	10 %
Partidas necesarias en la obra	45 %
Entrega de la obra	25 %

## 7.6 PUESTA EN MARCHA DEL EQUIPO

La puesta en marcha de la planta de valorización energética del biogás generado, será realizada por el fabricante de las microturbinas y supervisado por técnicos correctamente formados y acreditados por la



propia empresa contratada. Se calibrará el funcionamiento del equipo para asegurar un funcionamiento óptimo de la instalación y del conjunto de los equipos auxiliares. El fabricante certificará la correcta implantación y puesta en servicio.

El control diario de la instalación será realizado por los ingenieros a cargo de la planta, vigilando e inspeccionando el buen funcionamiento del equipo, así como efectuarán los requerimientos de mantenimiento mínimos necesarios.

Con el fin de mantener el equipo en unas buenas condiciones de maniobra y operación, se considerarán como costes a evaluar los derivados de un modelo de mantenimiento subcontratado al fabricante. En dicho modelo, se realizará un plan de mantenimiento base preventivo. Además, se tendrá en cuenta un mantenimiento correctivo en caso de averías, fallos y daños en la unidad.

## **7.7 IMPACTO AMBIENTAL**

El objetivo principal de una planta de cogeneración es realizar la mejor transformación posible de las fuentes de energía primaria y en este caso en particular la mejor transformación de una fuente de energía renovable. Por consiguiente, su impacto sobre el medio ambiente es doblemente positivo, ya que transformamos con la máxima eficiencia un combustible renovable como el biogás en electricidad y calor útil para proceso. Este ahorro conlleva necesariamente la disminución de las emisiones de dióxido de carbono, uno de los gases que contribuyen al denominado “efecto invernadero.”

Sobre el efecto invernadero de los distintos gases, el CH<sub>4</sub> que se produce en como consecuencia de la digestión de los lodos de una EDAR tiene un impacto 21 veces superior al CO<sub>2</sub> que se produce en la combustión por lo que su valorización energética no es una ventaja sino una obligación.



A continuación, en la siguiente tabla (Tabla 20), se analizan los focos de contaminación de la nueva central:

Tabla 20: Focos de contaminación.

Foco contaminante	Medidas	Grado de afección
Polvos, basuras y otros residuos sólidos	Se generan residuos procedentes de los filtros de aire utilizados en la instalación. Estos residuos serán almacenados en punto limpio y gestionados por un Gestor de Residuos Autorizado.	Bajo.
Efluentes líquidos	Purgas y pérdidas de los distintos circuitos de agua de la planta de cogeneración: agua caliente, circuito refrigeración, purgas tuberías de biogás. Evacuación hacia la actual red de purgas de la EDAR.	Bajo
Humos y emisiones gaseosas	El combustible empleado en la instalación es biogás producido en la EDAR. Actualmente el biogás se quema en la antorcha o calderas, con exceso de aire comburente que asegura la total combustión del mismo. La composición de los gases de escape a la atmósfera es una mezcla de CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O y O <sub>2</sub> . Contiene, además, un pequeño porcentaje de óxidos de Nitrógeno (NO <sub>x</sub> ), de monóxido de carbono	Ninguno



Foco contaminante	Medidas	Grado de afección
	<p>(CO) y de siloxanos. El biogás tiene muy poco azufre. El contenido de SO<sub>2</sub> en las emisiones a la atmósfera es mínimo. En funcionamiento normal no habrá otras emisiones gaseosas que las producidas por los gases de combustión.</p> <p>La instalación de unas microturbinas para la combustión del biogás no implica aumento alguno de estas emisiones respecto a la situación actual (se quema todo el biogás producido en la antorcha o calderas). Se considera que la instalación de las microturbinas está asociada a una menor emisión de contaminantes debido a que el combustible (biogás) debe de ser previamente tratado antes de alimentar a la microturbina.</p>	
Olores	La completa combustión del combustible asegura la no aparición de ningún tipo de olor.	Ninguno
Ruidos	El nivel sonoro de la planta de valorización energética, debido a los equipos principales que lo generan (microturbinas y compresor del sistema unidad de tratamiento de biogás), no	Ninguno



Foco contaminante	Medidas	Grado de afección
	sobrepasará los límites exigidos.	
Vibraciones	Los equipos que podrían generarlas (microturbinas a gas) no están concebidas para funcionar con vibraciones puesto que giran a 96.000 rpm. En cualquier caso, su instalación se realiza de forma que se evite la transmisión de vibraciones.	Ninguno
Materiales inflamables y explosivos	Tanto la instalación de biogás, como los aparatos consumidores de biogás cumplirán con la normativa actualmente vigente. De cualquier forma, la planta de valorización energética contará con equipos contra incendios de la EDAR.	Ninguno

A continuación, se analizan las emisiones gaseosas de la planta:

Actualmente la EDAR realiza la combustión del biogás producido mediante las calderas existentes o en su defecto con la antorcha.

La planta de valorización energética proyectada tiene un sistema unidad de tratamiento de biogás, que dispone de un filtro de carbón activo para filtrar todos los Componentes Orgánicos Volátiles, incluidos los siloxanos, presentes en el biogás y de una enfriadora que permite deshumidificarlo. Así, la instalación de las microturbinas implica que el biogás que las alimenta sea mucho más limpio que el que actualmente se incinera en la antorcha. Es por esto que la instalación de las microturbinas está asociada a unas emisiones de contaminantes a la atmósfera más limpias que las que



existen en la actualidad (combustión del biogás en las calderas o antorcha existente sin previo tratamiento del biogás).

Así, las únicas emisiones gaseosas que se producen durante el funcionamiento normal de la actividad son las de gases de las microturbinas. El máximo caudal de gases de escape de las dos microturbinas a plena carga es de 0,49 kg/s.

El elevado exceso de aire en la combustión asegura la completa combustión del biogás (eliminándose prácticamente las emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos).

Tabla 21: Contaminantes.

Contaminante	Emisiones en microturbina de gas (alimentada con biogás generado en digestor y tratado en la UTB) (15% de O <sub>2</sub> )	Valores máximos recomendados (15% de O <sub>2</sub> )
NO <sub>x</sub>	18 mg/Nm <sup>3</sup> (1)	1000 mg/Nm <sup>3</sup> (NO <sub>2</sub> )
CO	160 mg/Nm <sup>3</sup> (1)	625 mg/ Nm <sup>3</sup>
VOC/Partículas	5 mg/Nm <sup>3</sup> (1)	30 mg/Nm <sup>3</sup>

Como se ve en la Tabla 21, la instalación queda muy por debajo de los límites permisibles actuales, con lo cual cumple la normativa vigente.

La instalación dispondrá de toma de muestras para medición de emisiones (medición discontinua) en la chimenea principal, con las particularidades y accesos que exige la normativa vigente.

No se prevé la medición en continuo dado que la potencia de la planta no supera los 8 MWe.

Existen tres focos emisores: uno para las emisiones de gases calientes a la salida del intercambiador de calor, ubicación central a ambas, así como otros dos independientes en cada microturbina por donde se evacuan los gases solamente en caso de emergencia e instantes antes de parar todas las microturbinas.



Las características más relevantes de la chimenea son:

- Ubicación: La única chimenea estará emplazada justo encima de la brida de salida de gases de escape del intercambiador de calor gases / agua.
- Forma y altura de la chimenea: La chimenea es metálica, vertical y de sección circular. La coronación de la chimenea estará a la misma altura que la de las calderas convencionales.
- Las alturas consideradas cumplen sobradamente con la mínima resultante de cálculo mediante el procedimiento establecido en el Anexo II de la Orden de 18/10/76 sobre prevención y corrección de la contaminación industrial de la atmósfera.
- Diámetro de chimenea: El diámetro de la chimenea será de 400 mm.

Se presenta a continuación una relación de los residuos que se generarán durante el desarrollo de la actividad.

- Carbón activo de la UTB: El carbón activo utilizado, saturado de componentes volátiles (COV's) presentes en el biogás, será tratado adecuadamente mediante un gestor autorizado. El consumo de carbón activo depende de la concentración COV's presentes en el biogás.
- Aceite del compresor: El compresor de biogás utiliza aceite para su funcionamiento con un consumo estimado de 10 l/año. El aceite usado será tratado mediante un gestor autorizado.



Los principales focos de ruido que genera la actividad en condiciones de funcionamiento normal son los siguientes:

- 1) Microturbinas: El nivel sonoro del sistema microturbinas ubicado en el exterior es de 85 dBA a 1 m de estas. Este ruido es a altas frecuencias y presenta una gran direccionalidad.
- 2) Unidad de Tratamiento de Biogás: El ruido será producido por los compresores de biogás que incorporará la UTB. El nivel sonoro del sistema unidad de tratamiento de biogás en el exterior es de 83 dBA a 1 m de éste.
- 3) Chimenea: Los humos salientes por la chimenea se consideran ya atenuados tras pasar a través de la misma puesto que actúa como un gran silenciador. La experiencia indica que, sin medidas correctoras adicionales, se obtiene un nivel sonoro máximo de 80 dBA.

En la siguiente tabla adjunta (Tabla 22), se muestran los niveles sonoros emitidos.

Tabla 22: Niveles sonoros emitidos.

Foco	Nivel sonoro corregido a 1 m (dBA)	Ud	Nivel sonoro corregido a 1 m [A] (dBA)
1) Microturbinas	85	2	85
2) UTB	83	1	83
3) Chimenea	80	1	80



## 7.8 RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

A continuación, se establecen unas consideraciones mínimas en cuanto a seguridad de aplicación para la ejecución de la obra. Únicamente han de interpretarse como base, pero será de responsabilidad del cliente de la planta y del usuario de la misma tomar las medidas que se consideren necesarias para garantizar la integridad, tanto de los trabajadores, como de la planta donde se instalen los equipos:

- Los trabajos de mantenimiento de las microturbinas y de los equipos auxiliares deben ser llevados a cabo por personal preparado y autorizado para tal fin.
- Han de tenerse en consideración las instrucciones de seguridad generales de toda la instalación anexa de la planta.
- Ha de llevarse ropa, calzado y guantes adecuados para las actividades y mantenimientos a realizar.
- Evitar intoxicaciones debido a subproductos generados de la combustión.
- Evitar posibles incendios al trabajar en una zona de peligro, ya que las microturbinas trabajan con biogás con un contenido en metano del 64%. Se debe de estimar y categorizar la zona ATEX en su implantación.
- Asegurarse de realizarse una operación de parada adecuada, con tiempos de enfriamiento de los equipos y despresurización de circuitos antes de comenzar las posibles reparaciones.



## **7.9 PLAZO DE GARANTÍA**

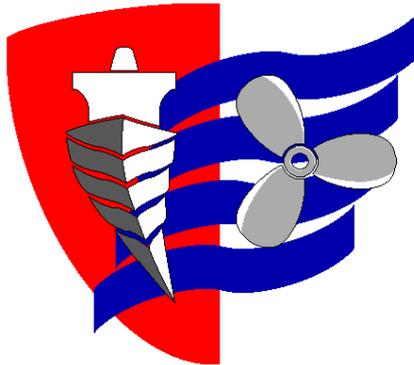
El plazo de garantía de los equipos que forman parte de la planta de valorización energética, se extenderá a 12 meses de funcionamiento pleno desde la puesta en servicio o de 15 meses desde la fecha de salida del origen de fabricación, siendo, desde este periodo, responsabilidad de la empresa Contratada la reparación y conservación de todas las obras ejecutadas, siempre que sean por fallos o problemas derivados como consecuencia de la ejecución de la obra y no producidas por terceros.

## **7.10 DOCUMENTACIÓN FINAL DE LA OBRA**

La empresa Contratada para la ejecución de la obra de la planta para la valorización energética del biogás, entregará a la empresa Contratante tres ejemplares del documento final de obra realizado, que recogerá todas las incidencias acontecidas durante las obras, desde su inicio hasta su finalización. A su vez, deberá incluirse en este documento la certificación final de obra que acredite las microturbinas instaladas y sus equipos auxiliares.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**PRESUPUESTO**



## 8 PRESUPUESTO

Código	Nat	Ud	Resumen	Comentario	N	Longitud	Anchura	Altura	Parcial	CanPres	PrPres	ImpPres
01	Capítulo		Movimiento de tierras y rellenos							1	3.575,94	3.575,94
0101	Partida	m3	EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO MEDIOS MEC.	Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.	1	8,00	8,00	0,60	38,40	38,40	15,99	614,02
									<b>0101</b>	<b>38,40</b>		<b>614,02</b>
0102	Partida	m3	TRANSPORTE DE TIERRAS CON CAMIÓN.	Transporte de tierras con camión de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a una distancia máxima de 10 km, considerando el tiempo de espera para la carga a máquina en obra, ida, descarga, vuelta y coste del vertido. Sin incluir la carga en obra.	1	8,00	8,00	0,60	38,40	38,40	12,15	466,56
									<b>0102</b>	<b>38,40</b>		<b>466,56</b>
0103	Partida	m2	ENCACHADO EN CAJA PARA BASE SOLERA.							144,00	14,00	2.016,00



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



Encachado en caja para base de solera de 20 cm de espesor, mediante relleno y extendido en tongadas de espesor no superior a 20 cm de gravas procedentes de cantera caliza de 40/80 mm; y posterior compactación mediante equipo mecánico con rodillo vibrante tándem autopropulsado, sobre la explanada homogénea y nivelada.

1ª Tongada	1	8,00	8,00	0,00	64,00			
2ª Tongada	1	8,00	8,00	0,00	64,00			
3ª Tongada	1	4,00	4,00	0,00	16,00			
					<b>0103</b>	<b>144,00</b>	14,00	<b>2.016,00</b>

0104	Partida	m2	CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA				64,00	7,49	479,36
------	---------	----	------------------------------	--	--	--	-------	------	--------

Capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, de 10 cm de espesor. Nivelado de fondos de cimentación del fondo de la excavación previamente realizada.

1	8,00	8,00	0,00	64,00				
					<b>0104</b>	<b>64,00</b>	7,49	<b>479,36</b>

					<b>01</b>	<b>1</b>	<b>3.575,94</b>	<b>3.575,94</b>
--	--	--	--	--	-----------	----------	-----------------	-----------------

<b>02</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Obra civil</b>				<b>1</b>	<b>1.666,00</b>	<b>1.666,00</b>
-----------	-----------------	--	-------------------	--	--	--	----------	-----------------	-----------------

0201	Partida	m2	SOLERA DE HORMIGÓN.				49,00	34,00	1.666,00
------	---------	----	---------------------	--	--	--	-------	-------	----------



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



Solera de hormigón armado de 20 cm de espesor, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, y malla electrosoldada ME 15x15 Ø 10-10 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 como armadura de reparto, colocada sobre separadores homologados, extendido y vibrado manual mediante regla vibrante, sin tratamiento de su superficie; con juntas de retracción de 5 mm de espesor, realizadas con sierra de disco, formando cuadrícula; apoyada sobre capa base existente. Incluso panel de poliestireno expandido de 3 cm de espesor, para la ejecución de juntas de dilatación. El precio no incluye la capa base.

				1	7,00	7,00	0,00	49,00			
								<b>0201</b>	<b>49,00</b>	34,00	<b>1.666,00</b>
								<b>02</b>	<b>1</b>	<b>1.666,00</b>	<b>1.666,00</b>
<b>03</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Estructura</b>						<b>1</b>	<b>4.254,93</b>	<b>4.254,93</b>
0301	Partida	kg	SUMINISTRO Y MONTAJE DE ACERO LAMINADO, EN PERFILES LAMINADOS EN						1.300,35	2,37	3.081,82



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



Suministro y montaje de acero laminado, en perfiles laminados en caliente, piezas simples de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, para vigas y pilares, mediante uniones soldadas. Incluso p/p de preparación de bordes, soldaduras, cortes, piezas especiales y despuntes. Totalmente montado.

Pilares IPE 240	3	3,14	0,00	0,00	296,45	31.47	
Pilares IPE 240	3	2,74	0,00	0,00	258,68	31.47	
Vigas IPE 240	3	6,14	0,00	0,00	579,68	31.47	
Chapa de Pilares/Portico 120x240x20	6	0,00	0,00	0,00	27,60	4.6	
Chapa de Pilares 440x320x20	6	0,00	0,00	0,00	135,00	22.5	
Angular 30x30x3	18	0,12	0,00	0,00	2,94	1.36	
<b>0301</b>					<b>1.300,35</b>	2,37	<b>3.081,82</b>

0302	Partida	ud	PERNOS DE ACERO CORRUGADO UNE-EN 10080 B 500 S DE 18 MM DE DIÁME				24,00	12,32	295,68
------	---------	----	--	--	--	--	-------	-------	--------

Pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 18 mm de diámetro y 30 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cemento. Incluso p/p de medios auxiliares.

24	0,00	0,00	0,00	24,00			
<b>0302</b>					<b>24,00</b>	12,32	<b>295,68</b>

0303	Partida	kg	ACERO EN CORREAS METÁLICAS				356,68	2,46	877,43
------	---------	----	----------------------------	--	--	--	--------	------	--------



TRABAJO FIN DE GRADO  
 “Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Acero S235JRC en correas metálicas, tipo Teczone C 175/50/20/3, con piezas simples de perfiles conformados en frío de las series C o Z, galvanizado y colocado en obra.

6 6,74 0,00 0,00 356,68 8.82

								<b>0303</b>	<b>356,68</b>	2,46	<b>877,43</b>
								<b>03</b>	<b>1</b>	<b>4.254,93</b>	<b>4.254,93</b>
<b>04</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Cerramientos</b>						<b>1</b>	<b>3.091,90</b>	<b>3.091,90</b>
0401	Partida	m2	MURETE DE BLOQUES DE HORMIGÓN						66,33	35,82	2.375,76
			Murete de 20 cm de espesor de fábrica, de bloque hueco de hormigón, para revestir, color gris, 40x20x20 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm <sup>2</sup> ), recibida con mortero de cemento industrial, color gris, M-7,5, suministrado a granel.								
			Norte	1	7,00	0,00	6,85		47,95		
			NorOeste	1	5,25	0,00	3,50		18,38		
								<b>0401</b>	<b>66,33</b>	35,82	<b>2.375,76</b>
0402	Partida	m2	CUBIERTA INCLINADA DE CHAPA DE ACERO						42,35	16,91	716,14
			Cubierta inclinada de chapa de acero prelacado, tipo Teczone TZ 30, de 0,8 mm de espesor, con una pendiente mayor del 10%.								
				7	5,50	1,10	0,00		42,35		
								<b>0402</b>	<b>42,35</b>	16,91	<b>716,14</b>
								<b>04</b>	<b>1</b>	<b>3.091,90</b>	<b>3.091,90</b>



TRABAJO FIN DE GRADO  
*"Microturbina de biogás en E.D.A.R"*



<b>05</b>	<b>Capítulo</b>	<b>Instalación eléctrica y de control</b>				<b>1</b>	<b>17.641,88</b>	<b>17.641,88</b>		
0501	Partida	Ud	OBRA CIVIL				1,00	5.391,27	5.391,27	
050101	Partida	m3	Excavación exterior línea enlace Excavación de tierras a cielo abierto para formación de zanja para instalaciones hasta una profundidad de 1 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos. Incluso transporte de la maquinaria, refinado de paramentos y fondo de excavación, extracción de tierras fuera de la excavación, retirada de los materiales excavados y carga a camión.				41,600	51,00	2.121,60	
			Zanja exterior	1	65,00	0,64	1,00	41,60		
							<b>050101</b>	<b>41,600</b>	<b>51,00</b>	<b>2.121,60</b>
050102	Partida	m3	Relleno de zanja de hormigón en masa H-100				15,470	73,00	1.129,31	



TRABAJO FIN DE GRADO  
 “Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Formación de relleno de las instalaciones en zanjas, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501 (ensayo no incluido en este precio). Incluso carga, transporte y descarga a pie de tajo de los áridos a utilizar en los trabajos de relleno y humectación de los mismos.

1 65,00 0,85 0,28 15,47

**050102 15,470 73,00 1.129,31**

050103 Partida m3 Relleno de zanja de tierra compactada 23,205 10,00 232,05

Formación de relleno de las instalaciones en zanjas, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501 (ensayo no incluido en este precio). Incluso carga, transporte y descarga a pie de tajo de los áridos a utilizar en los trabajos de relleno y humectación de los mismos.

1 65,00 0,85 0,42 23,21

**050103 23,205 10,00 232,05**

050104 Partida m3 Relleno de zanja de hormigón H-150 13,813 73,00 1.008,31



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



Formación de relleno de las instalaciones en zanjas con hormigón de 150 kg/cm<sup>2</sup> fabricado en central y vertido desde camión. Incluso carga, transporte, vertido, vibrado y curado del hormigón.

					1	65,00	0,85	0,25	13,81			
									<b>050104</b>	<b>13,813</b>	73,00	<b>1.008,31</b>
050105	Partida	ud	Arqueta prefabricada hormigón 850x850x1000							3,000	300,00	900,00
			Suministro y montaje de arqueta de conexión eléctrica, prefabricada de hormigón, registrable, de 850x850x1000 cm, con paredes rebajadas para la entrada de tubos, con marco de chapa galvanizada y tapa de hormigón armado aligerado, para arqueta de conexión eléctrica. Incluso conexiones de tubos y remates. Completamente terminada, sin incluir la excavación ni el relleno de trasdós.									
			Arquetas		3	0,00	0,00	0,00	3,00			
									<b>050105</b>	<b>3,000</b>	300,00	<b>900,00</b>
									<b>0501</b>	<b>1,00</b>	<b>5.391,27</b>	<b>5.391,27</b>
0502	Partida	Ud	CONDUCTORES Y CANALIZACIONES							1,00	4.254,90	4.254,90
050201	Partida	m	Cable 150mm <sup>2</sup>							260,000	14,67	3.814,20



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



Cable eléctrico unipolar, Afumex Class 1000 V (AS), tipo RZ1-K (AS), tensión nominal 0,6/1 kV, de alta seguridad en caso de incendio (AS), reacción al fuego clase Cca-s1b,d1,a1, con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x150 mm<sup>2</sup> de sección, aislamiento de polietileno reticulado (XLPE), de tipo DIX3, cubierta de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex Z1, de color verde, y con las siguientes características: no propagación de la llama, no propagación del incendio, baja emisión de humos opacos, reducida emisión de gases tóxicos, libre de halógenos, nula emisión de gases corrosivos, resistencia a la absorción de agua, resistencia al frío, resistencia a los rayos ultravioleta y resistencia a los agentes químicos. Según UNE 21123-4.

			Cable enlace	4	65,00	0,00	0,00	260,00			
								<b>050201</b>	<b>260,000</b>	<b>14,67</b>	<b>3.814,20</b>
050202	Partida	m	Tubo polietileno D=200mm						65,000	6,78	440,70
			Suministro e instalación enterrada de canalización de tubo curvable, suministrado en rollo, de polietileno de doble pared (interior lisa y exterior corrugada), de color naranja, de 200 mm de diámetro nominal, resistencia a la compresión 450 N. Incluso p/p de accesorios y piezas especiales. Totalmente montada.								



TRABAJO FIN DE GRADO  
 “Microturbina de biogás en E.D.A.R”



			Tubo canalización	1	65,00	0,00	0,00	65,00			
								<b>050202</b>	<b>65,000</b>	6,78	<b>440,70</b>
								<b>0502</b>	1,00	<b>4.254,90</b>	<b>4.254,90</b>
0503	Partida	Ud	MÓDULO ENCHUFABLE						1,00	4.500,00	4.500,00
			Montaje e instalación de modulo enchufable compatible con la instalación existente, incluso p/p de accesorios y piezas especiales. Totalmente montado conexionado y probado.								
				1	0,00	0,00	0,00	1,00			
								<b>0503</b>	<b>1,00</b>	4.500,00	<b>4.500,00</b>
0504	Partida	Ud	MÓDULO DINÁMICO DE PONTECIA						1,00	2.695,71	2.695,71
			Suministro e instalación de módulo de control dinámico de potencia de la marca Circutor modelo CDP-0, o similar incluyendo tres transformadores de corriente de núcleo partido 600/5 e incluso p.p de materiales y medios auxiliares totalmente montado, conexionado y probado.								
				1	0,00	0,00	0,00	1,00			
								<b>0504</b>	<b>1,00</b>	2.695,71	<b>2.695,71</b>
0505	Partida	Ud	INSTALACIÓN DE CONTROL						1,00	800,00	800,00



TRABAJO FIN DE GRADO  
 “Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Partida alzada correspondiente a la instalación de control de la central de cogeneración incluyendo la instalación de la línea así como la configuración de la instalación en el sistema de control existente. Totalmente montada, conexionada y probada.

					1	0,00	0,00	0,00	1,00			
									<b>0505</b>	<b>1,00</b>	800,00	<b>800,00</b>
									<b>05</b>	<b>1</b>	<b>17.641,88</b>	<b>17.641,88</b>
<b>06</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Tuberías de agua</b>							<b>1</b>	<b>2.151,84</b>	<b>2.151,84</b>
0601	Partida	m3	ENANO DE CIMENTACIÓN							0,79	189,32	149,94
			Enano de cimentación de hormigón armado, realizado con hormigón HA-25/B/20/Ila fabricado en central, y vertido desde camión, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 95 kg/m <sup>3</sup> , incluido encofrado.		22	0,40	0,30	0,30	0,79			
									<b>0601</b>	<b>0,79</b>	189,32	<b>149,94</b>
0602	Partida	m3	EXCAVACIÓN MANUAL							3,30	28,12	92,80
			Excavación a cielo abierto en suelo de arcilla semidura, con medios manuales, retirada de los materiales excavados y carga a camión.		22	0,60	0,50	0,50	3,30			
									<b>0602</b>	<b>3,30</b>	28,12	<b>92,80</b>



TRABAJO FIN DE GRADO  
*"Microturbina de biogás en E.D.A.R"*



0603	Partida	m2	ENCACHADO					3,30	14,00	46,20	
			Encachado en caja para base de enanos de hormigón de 20 cm de espesor, mediante relleno y extendido en tongadas de espesor no superior a 20 cm de gravas procedentes de cantera caliza de 40/80 mm; y posterior compactación mediante equipo mecánico y p.p. de medios auxiliares.								
				22	0,60	0,50	0,50	3,30			
								<b>0603</b>	<b>3,30</b>	<b>14,00</b>	<b>46,20</b>
0604	Partida	m	TUBERÍA DE INOXIDABLE					130,00	14,33	1.862,90	
			Suministro e instalación de tubería de acero inoxidable, colocada sobre enanos de hormigón, formada por tubo de acero inoxidable clase 1.4301 (AISI 304), con soldadura longitudinal, de 54 mm de diámetro exterior y 1,2 mm de espesor. Incluso p.p de materiales y medios auxiliares, totalmente montado conexionado y probado.								
				2	65,00	0,00	0,00	130,00			
								<b>0604</b>	<b>130,00</b>	<b>14,33</b>	<b>1.862,90</b>
								<b>06</b>	<b>1</b>	<b>2.151,84</b>	<b>2.151,84</b>
<b>07</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Tubería de gas</b>						<b>1</b>	<b>1.666,96</b>	<b>1.666,96</b>
0701	Partida	m3	EXCAVACIÓN DE ZANJA					52,81	10,67	563,51	



TRABAJO FIN DE GRADO  
*"Microturbina de biogás en E.D.A.R"*



Excavación de zanja en tierra blanda, de hasta 1,25 m de profundidad máxima, con medios mecánicos.

				1	84,50	0,50	1,25	52,81			
								<b>0701</b>	<b>52,81</b>	10,67	<b>563,51</b>
0702	Partida	m	TUBERÍA DE GAS ENTERRADA						84,50	11,41	964,15
			Tubería para instalación común de gas, enterrada, formada por tubo de polietileno de alta densidad, de 20 mm de diámetro exterior.								
				1	84,50	0,00	0,00	84,50			
								<b>0702</b>	<b>84,50</b>	11,41	<b>964,15</b>
0703	Partida	m	TUBERÍA DE GAS AÉREA						7,00	19,90	139,30
			Tubería para instalación común de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero negro, con soldadura longitudinal por resistencia eléctrica, de 3/4" DN 20 mm de diámetro, acabada con mano de imprimación antioxidante y dos manos de esmalte sintético.								
				1	7,00	0,00	0,00	7,00			
								<b>0703</b>	<b>7,00</b>	19,90	<b>139,30</b>
								<b>07</b>	<b>1</b>	<b>1.666,96</b>	<b>1.666,96</b>
<b>08</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Microturbinas y equipo auxiliar</b>						<b>1</b>	<b>271.370,00</b>	<b>271.370,00</b>



TRABAJO FIN DE GRADO  
*"Microturbina de biogás en E.D.A.R"*



0801	Partida	Ud	MICROTURBINA CR65 BIO DIGESTER HP GC					2,00	83.135,50	166.271,00	
				2	0,00	0,00	0,00	2,00			
								<b>0801</b>	<b>2,00</b>	<b>83.135,50</b>	<b>166.271,00</b>
0802	Partida	Ud	UTB PARA 80 Nm3/h DE BIOGÁS					1,00	51.483,00	51.483,00	
				1	0,00	0,00	0,00	1,00			
								<b>0802</b>	<b>1,00</b>	<b>51.483,00</b>	<b>51.483,00</b>
0803	Partida	Ud	RECUPERADOR DE CALOR PARA 2 MICROTURBINAS					1,00	29.533,00	29.533,00	
				1	0,00	0,00	0,00	1,00			
								<b>0803</b>	<b>1,00</b>	<b>29.533,00</b>	<b>29.533,00</b>
0804	Partida	Ud	ACCESORIOS (COMUNICACIONES, KIT COMBUSTIBLE)					1,00	1.443,00	1.443,00	
				1	0,00	0,00	0,00	1,00			
								<b>0804</b>	<b>1,00</b>	<b>1.443,00</b>	<b>1.443,00</b>
0805	Partida	Ud	TRANSPORTE Y TASAS DE IMPORTACIÓN UE					1,00	9.515,00	9.515,00	
				1	0,00	0,00	0,00	1,00			
								<b>0805</b>	<b>1,00</b>	<b>9.515,00</b>	<b>9.515,00</b>
0806	Partida	Ud	PUESTA EN MARCHA, DOCUMENTACIÓN Y PRUEBAS EN EMPLAZAMIENTO					1,00	13.125,00	13.125,00	
				1	0,00	0,00	0,00	1,00			



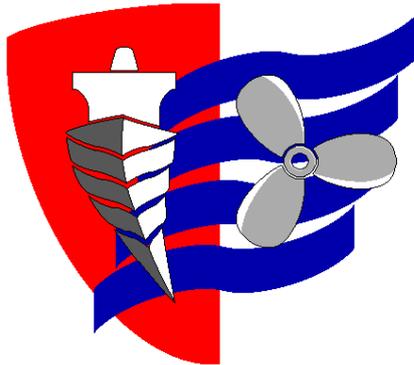
TRABAJO FIN DE GRADO  
*"Microturbina de biogás en E.D.A.R"*



									<b>0806</b>	<b>1,00</b>	13.125,00	<b>13.125,00</b>
									<b>08</b>	<b>1</b>	<b>271.370,00</b>	<b>271.370,00</b>
<b>09</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Instalaciones auxiliares</b>							<b>1</b>	<b>12.000,00</b>	<b>12.000,00</b>
0901	Partida	Ud	INTERCONEXIÓN INTERNA COGENERACIÓN							1,00	12.000,00	12.000,00
			Partida alzada de interconexión de equipos auxiliares en la instalación de cogeneración									
					1	0,00	0,00	0,00		1,00		
									<b>0901</b>	<b>1,00</b>	12.000,00	<b>12.000,00</b>
									<b>09</b>	<b>1</b>	<b>12.000,00</b>	<b>12.000,00</b>
<b>10</b>	<b>Capítulo</b>		<b>Oficina técnica y gastos administrativos</b>							<b>1</b>	<b>22.000,00</b>	<b>22.000,00</b>
1001	Partida	Ud	GASTOS OFICINA TÉCNICA Y ADMINISTRATIVOS							1,00	22.000,00	22.000,00
					1	0,00	0,00	0,00		1,00		
									<b>1001</b>	<b>1,00</b>	22.000,00	<b>22.000,00</b>
									<b>10</b>	<b>1</b>	<b>22.000,00</b>	<b>22.000,00</b>
									<b>FINAL</b>	<b>1</b>	<b>339.419,45</b>	<b>339.419,45</b>



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**



## **9 ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD**

### **9.1. INTRODUCCIÓN**

#### **9.1.1. OBJETO DEL PROYECTO**

Este proyecto de Seguridad y Salud establece, durante la ejecución del presente proyecto, las previsiones respecto a la prevención de riesgos de accidentes, enfermedades profesionales y los derivados de los trabajos de desmontaje, conservación, traslado, y montaje. También establece las instalaciones preceptivas de higiene y bienestar de los trabajadores. En aplicación del presente proyecto, se elabora el Plan de Seguridad y Salud en el trabajo en el que se analizan, estudian, desarrollan y complementan las previsiones contenidas en este Estudio, en función de su propio sistema de ejecución de la obra. Con este Estudio y con el Plan de Seguridad, se pretende dar cumplimiento a lo dispuesto en el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción (B.O.E. de 25 de octubre de 1997).

El Plan podrá ser modificado en función del proceso de ejecución de la obra y de las posibles incidencias que puedan surgir a lo largo del mismo, pero siempre con la aprobación expresa de la Dirección Facultativa y la necesaria información y comunicación al Comité de Seguridad e Higiene y en su defecto, a los representantes de los trabajadores en el centro de trabajo.

#### **9.1.2. DESIGNACIÓN DE LOS COORDINADORES DE SEGURIDAD Y SALUD**

En las obras objeto de este proyecto, el promotor de la obra designará un coordinador en materia de seguridad y de salud durante la elaboración del mismo. En este sentido, y en aplicación de lo dispuesto en el art. 3 del Real



Decreto 1627/1997, el Coordinador en materia de seguridad y de salud durante la elaboración del presente proyecto será el ingeniero que lo suscribe.

Si en la ejecución de la obra interviene más de una empresa, o una empresa y trabajadores autónomos o diversos trabajadores autónomos, el promotor, antes del inicio de los trabajos o tan pronto como se constate dicha circunstancia, designará un coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra.

La designación de los coordinadores en materia de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto de obra y durante la ejecución de la obra podrá recaer en la misma persona. La designación de los coordinadores no eximirá al promotor de sus responsabilidades.

### 9.1.3. ESTRUCTURA DEL PROYECTO DE SEGURIDAD Y SALUD EN LAS OBRAS

El proyecto de seguridad y salud será elaborado por el técnico competente designado por el promotor. Cuando deba existir un coordinador en materia de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto de obra, le corresponderá a éste elaborar o hacer que se elabore, bajo su responsabilidad, dicho estudio.

El estudio contendrá los siguientes documentos:

- Memoria descriptiva con identificación de los riesgos que puedan existir, indicando las medidas técnicas necesarias de protección.
- Condiciones particulares en el que se tendrán en cuenta las normas legales y reglamentarias aplicables a las especificaciones técnicas propias de la obra y de las características de máquinas, útiles, herramientas, sistemas y equipos preventivos.



## 9.2. PRINCIPIOS GENERALES APLICABLES AL PROYECTO Y A LA OBRA

En la redacción del presente proyecto, y de conformidad con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, han sido tomados los principios generales de prevención en materia de seguridad y salud previstos en el artículo 15, en las fases de concepción, estudio y elaboración del proyecto de obra y en particular:

- Al tomar las decisiones constructivas, técnicas y de organización con el fin de planificar los distintos trabajos o fases de trabajo que se desarrollarán simultáneamente o sucesivamente.
- Al estimar la duración requerida para la ejecución de estos distintos trabajos o fases de trabajo.

Asimismo, y de conformidad con la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, los principios de la acción preventiva que se recogen en su artículo 15 se aplicarán durante la ejecución de la obra y, en particular, en las siguientes tareas o actividades:

- El mantenimiento de la obra en buen estado de orden y limpieza.
- La elección del emplazamiento de los puestos y áreas de trabajo, teniendo en cuenta sus condiciones de acceso, y la determinación de las vías o zonas de desplazamiento o circulación.
- La manipulación de los distintos materiales y la utilización de los medios auxiliares.
- El mantenimiento, el control previo a la puesta en servicio y el control periódico de las instalaciones y dispositivos necesarios para la



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



ejecución de la obra, con objeto de corregir los defectos que pudieran afectar a la seguridad y salud de los trabajadores.

- La delimitación y el acondicionamiento de las zonas de almacenamiento y depósito de los distintos materiales, en particular si se trata de materias o sustancias peligrosas.
- La recogida de los materiales peligrosos utilizados.
- El almacenamiento y la eliminación o evacuación de residuos y escombros.
- La adaptación, en función de la evolución de la obra, del período de tiempo efectivo que habrá de dedicarse a los distintos trabajos o fases de trabajo.
- La cooperación entre los contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos.
- Las interacciones e incompatibilidades con cualquier otro tipo de trabajo o actividad que se realice en la obra o cerca del lugar de la obra.

### **9.3. MEMORIA DESCRIPTIVA**

#### **9.3.1. DESCRIPCIÓN Y SITUACIÓN.**

Las obras objeto del proyecto quedan descritas en el Proyecto Ejecutivo y en los Planos adjuntos, así como cuantas instalaciones auxiliares y complementarias han quedado reseñada en dicho documento.



### 9.3.2. PRESUPUESTO, PLAZO DE EJECUCIÓN Y MANO DE OBRA.

El Presupuesto de Ejecución de la obra civil, de la instalación eléctrica, de la disposición de tuberías y de la instalación de las microturbinas y equipos auxiliar, asciende a la cantidad 271.370,00 €.

El plazo de ejecución previsto es de DOCE semanas.

El personal de construcción desmontaje y montaje de los equipos y maquinaria podrá oscilar en el curso de la ejecución de los trabajos hasta un máximo de 15 personas y un mínimo de 3.

### 9.3.3. UNIDADES DEL PROYECTO.

Las unidades que componen el proyecto son las siguientes:

#### Trabajos de movimientos de tierra y rellenos:

- Excavación a cielo abierto, en suelo de arcilla semidura, con medios mecánicos, y carga a camión.
- Transporte de tierras con camión de los productos procedentes de la excavación de cualquier tipo de terreno a vertedero específico, instalación de tratamiento de residuos de construcción y demolición externa a la obra o centro de valorización o eliminación de residuos, situado a una distancia máxima de 10 km, considerando el tiempo de espera para la carga a máquina en obra, ida, descarga, vuelta y coste del vertido. Sin incluir la carga en obra.



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



- Encachado en caja para base de solera de 20 cm de espesor, mediante relleno y extendido en tongadas de espesor no superior a 20 cm de gravas procedentes de cantera caliza de 40/80 mm; y posterior compactación mediante equipo mecánico con rodillo vibrante tándem autopropulsado, sobre la explanada homogénea y nivelada.
- Capa de hormigón de limpieza HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, de 10 cm de espesor. Nivelado de fondos de cimentación del fondo de la excavación previamente realizada.

Obra civil:

- Solera de hormigón armado de 20 cm de espesor, realizada con hormigón HA-25/B/20/IIa fabricado en central, y vertido con cubilote, y malla electrosoldada ME 15x15 Ø 10-10 B 500 T 6x2,20 UNE-EN 10080 como armadura de reparto, colocada sobre separadores homologados, extendido y vibrado manual mediante regla vibrante, sin tratamiento de su superficie; con juntas de retracción de 5 mm de espesor, realizadas con sierra de disco, formando cuadrícula; apoyada sobre capa base existente. Incluso panel de poliestireno expandido de 3 cm de espesor, para la ejecución de juntas de dilatación.

Estructura y cerramientos:

- Suministro y montaje de acero laminado, en perfiles laminados en caliente, piezas simples de las series IPN, IPE, UPN, HEA, HEB o HEM, para vigas y pilares, mediante uniones soldadas.
- Pernos de acero corrugado UNE-EN 10080 B 500 S de 18 mm de diámetro y 30 cm de longitud total, embutidos en el hormigón fresco, y atornillados con arandelas, tuerca y contratuerca una vez endurecido el hormigón del cimiento.



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



- Acero S235JRC en correas metálicas, tipo Teczone C 175/50/20/3, con piezas simples de perfiles conformados en frío de las series C o Z, galvanizado y colocado en obra.
- Murete de 20 cm de espesor de fábrica, de bloque hueco de hormigón, para revestir, color gris, 40x20x20 cm, resistencia normalizada R10 (10 N/mm<sup>2</sup>), recibida con mortero de cemento industrial, color gris, M-7,5, suministrado a granel.
- Cubierta inclinada de chapa de acero prelacado, tipo Teczone TZ 30, de 0,8 mm de espesor, con una pendiente mayor del 10%.

Trabajos eléctricos y obras asociadas:

- Excavación de tierras a cielo abierto para formación de zanja para instalaciones hasta una profundidad de 1 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos. Incluso transporte de la maquinaria, refinado de paramentos y fondo de excavación, extracción de tierras fuera de la excavación, retirada de los materiales excavados y carga a camión.
- Formación de relleno de las instalaciones en zanjas, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501 (ensayo no incluido en este precio). Incluso carga, transporte y descarga a pie de tajo de los áridos a utilizar en los trabajos de relleno y humectación de los mismos.
- Formación de relleno de las instalaciones en zanjas, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor, hasta alcanzar una densidad



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501 (ensayo no incluido en este precio). Incluso carga, transporte y descarga a pie de tajo de los áridos a utilizar en los trabajos de relleno y humectación de los mismos.

- Formación de relleno de las instalaciones en zanjas con hormigón de 150 kg/cm<sup>2</sup> fabricado en central y vertido desde camión. Incluso carga, transporte, vertido, vibrado y curado del hormigón.
- Suministro y montaje de arqueta de conexión eléctrica, prefabricada de hormigón, registrable, de 850x850x1000 cm, con paredes rebajadas para la entrada de tubos, con marco de chapa galvanizada y tapa de hormigón armado aligerado, para arqueta de conexión eléctrica. Incluso conexiones de tubos y remates. Completamente terminada, sin incluir la excavación ni el relleno de trasdós.
- Montaje e instalación de módulo enchufable compatible con la instalación existente, incluso p/p de accesorios y piezas especiales. Totalmente montado conexionado y probado.
- Suministro e instalación de módulo de control dinámico de potencia de la marca Circutor modelo CDP-0, o similar incluyendo tres transformadores de corriente de núcleo partido 600/5 e incluso p.p de materiales y medios auxiliares totalmente montado, conexionado y probado.
- Partida alzada correspondiente a la instalación de control de la central de cogeneración incluyendo la instalación de la línea, así como la configuración de la instalación en el sistema de control existente. Totalmente montada, conexionada y probada.



#### 9.3.4. RIESGOS

##### Trabajos mecánicos

Para realizar esta actividad se utilizarán herramientas eléctricas, herramientas manuales y medios auxiliares.

NOTA:

Los riesgos de este apartado se complementan con capítulos incluidos en el presente PSS, donde analizamos los riesgos de la maquinaria, herramientas, actividades y medios auxiliares intervinientes en su ejecución:

- ✓ Herramientas manuales y eléctricas
- ✓ Andamios
- ✓ Escalera de mano
- ✓ Soldadura
- ✓ Equipo de soldadura

##### Identificación de los riesgos

- ✓ Caída de personal al mismo nivel
- ✓ Caída a distinto nivel
- ✓ Cortes en las manos por objetos y herramientas
- ✓ Atrapamientos por piezas pesadas
- ✓ Explosión del soplete
- ✓ Los inherentes a la utilización de la soldadura eléctrica
- ✓ Explosiones e incendios.
- ✓ Pisada sobre materiales
- ✓ Posturas inadecuadas.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



- ✓ Quemaduras
- ✓ Sobreesfuerzos

Medidas preventivas

El personal encargado de la ejecución de la obra y montaje de la instalación, debe conocer los riesgos específicos y el empleo de los medios auxiliares necesarios para realizarlos con la mayor seguridad posible.

Para evitar el riesgo de caída al mismo nivel se respetarán barandillas de seguridad.

En la manipulación de materiales deberán considerarse posiciones ergonómicas para evitar golpes heridas y erosiones.

Se vigilará en todo momento la buena calidad de los aislamientos, así como la correcta disposición de interruptores diferenciales y magneto térmicos en el cuadro de zona.

La iluminación mediante portátiles se efectuará utilizando portalámparas estancos con mango aislante y rejilla de protección de la bombilla; alimentados a 24 Voltios.

Se prohíbe el conexionado de cables a los cuadros de suministro eléctrico, sin la utilización de las clavijas macho-hembra.

Las herramientas a utilizar por los electricistas instaladores, estarán protegidas por doble aislamiento.

Las herramientas de los instaladores cuyo aislamiento esté deteriorado serán retiradas y sustituidas por otras en buen estado, de forma inmediata.

Los operarios que realicen los trabajos de desmontaje y montaje deberán usar casco de seguridad, guantes de cuero y lona, mono de trabajo, botas de seguridad y arnés de seguridad anticaídas si lo precisaran.

Los operarios que realicen trabajos con el soplete deberán usar casco de seguridad, guantes y manguitos de cuero, mirilla de cristal ahumado, mono



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



de trabajo, mandil de cuero, botas de cuero de seguridad, polainas de cuero y mascarilla anti humos tóxicos si se precisara.

Los operarios que realicen trabajos de albañilería deberán usar casco de seguridad, guantes de cuero o de neopreno según los casos, mono de trabajo, botas de cuero de seguridad, y arnés de seguridad anticaídas cuando las medidas protección colectivas no se puedan disponer.

Medidas preventivas de aplicación durante los trabajos de recepción y acopio de material y maquinaria:

Se preparará la zona del solar dentro de la estación depuradora para estacionar los camiones que retirarán el material sobrante propio de la obra civil, de manera que el pavimento tenga la resistencia adecuada para evitar vuelcos y atrapamientos.

Los equipos y partes mecánicas se izarán con ayuda de balancines indeformables mediante el gancho de la grúa. Se posarán en el suelo sobre una superficie de tablonos de reparto. Desde este punto se transportará al lugar de acopio en sus nuevas instalaciones.

Las cargas suspendidas se gobernarán mediante cabos sujetos a la carga y guiados por sendos operarios, para poder guiar cómodamente la carga y así evitar los riesgos de atrapamientos, cortes o caídas.

Se prohíbe expresamente guiar las cargas pesadas directamente con las manos o el cuerpo.

El transporte o cambio de ubicación horizontal mediante carros, se efectuará utilizando exclusivamente al personal necesario, que empujará siempre la carga desde los laterales, para evitar el riesgo de caídas y golpes.

No se permitirá el amarre a "puntos fuertes" para tracción antes de agotado el tiempo de endurecimiento del "punto fuerte" según los cálculos, para evitar los desplomes sobre las personas u objetos cercanos.



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



El ascenso o descenso a una bancada de posición de una determinada carga, se ejecutará mediante plano inclinado construido en función de la carga a soportar e inclinación adecuada (rodillos de desplazamiento y "carraca" o "tractel" de tracción amarrado a un "punto fuerte" de seguridad).

Se prohíbe el paso o acompañamiento lateral de transporte sobre rodillo de la maquinaria cuando la distancia libre de paso entre ésta y los paramentos verticales, sea igual o inferior a 60 cm, para así evitar el riesgo de atrapamiento.

Se prohíbe utilizar los flejes como asideros de carga.

Normas o medidas preventivas tipo, de aplicación durante los trabajos de tuberías y equipos:

El transporte de tramos de tubería a hombro de un hombre se realizará inclinando la carga hacia atrás, de manera que el extremo que va por delante supere la altura de un hombre, evitando los golpes y tropiezos con otros operarios en lugares poco iluminados.

El banco de trabajo estará en buen estado, evitando que se levanten astillas durante la labor.

Se repondrán las protecciones de los huecos de los forjados en caso de haberlos una vez realizado el desmontado de la instalación, para eliminar el riesgo de caídas. Los operarios realizarán el trabajo sujeto con el cinturón.

Se rodearán con barandillas de 90 cm. de altura los huecos de los forjados para paso de tubos, que no puedan cubrirse de otra forma, para evitar riesgo de caídas.

Las piezas extraídas se irán retirando conforme se vayan desmontando, para su posterior acopio y traslado, para evitar pisadas sobre materiales.

Junto a la puerta de almacén de gases licuados, se instalará un extintor de polvo químico seco.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



La iluminación eléctrica de los tajos será de un mínimo de 100 lux.

La iluminación eléctrica mediante portátiles, estará protegida mediante mecanismos estancos de seguridad con mango aislante y rejilla de protección de la bombilla.

Se prohíbe el uso de mecheros y sopletes encendidos junto a materiales inflamables.

Las botellas de gases licuados, se transportarán y permanecerán en los carros portabotellas.

Los recipientes que se usan para almacenamiento de gases licuados deberán presentar válvulas anti retornos tanto en el mechero como antes de la botella.

Durante el uso de las botellas será necesario que exista en la cercanía un extintor.

No se soldará con las botellas o bombonas de gases licuados expuestos al sol.

Se instalarán unos letreros de precaución en el almacén de gases licuados, en el taller de montaje y sobre el acopio de tubería y valvulería, con la siguiente leyenda: NO UTILICE ACETILENO PARA SOLDAR COBRE O ELEMENTOS QUE LO CONTENGA; SE PRODUCE “ACETILURO DE COBRE” QUE ES UN COMPUESTO EXPLOSIVO.

La instalación de conductos, depósitos de expansión, calderones o asimilables sobre las cubiertas, se ejecutarán siguiendo las medidas preventivas indicadas en el apartado de cubiertas para trabajos en cubiertas, para evitar el riesgo de caídas desde alturas.

Los lugares de paso estarán siempre libres de obstáculos. En caso de cruce de tuberías por lugares de paso, se protegerán mediante la cubrición con tablonés.

Equipos de protección individual necesarios para estos trabajos



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



- ✓ Ropa de trabajo adecuada.
- ✓ Chaleco de Alta Visibilidad (atendiendo a las normas de seguridad: circulación de maquinaria, vehículos, etc).
- ✓ Casco de seguridad.
- ✓ Gafas y yelmo de soldador.
- ✓ Guantes.
- ✓ Guantes de PVC o goma.
- ✓ Botas de seguridad (suela antideslizante).
- ✓ Polainas de cuero.
- ✓ Mandil de cuero.
- ✓ Arnés de seguridad anticaídas (cuando las protecciones colectivas no se puedan disponer y exista riesgo de caída > 2 m).
- ✓ Puntos fijos y/o línea de vida, cable fiador

Equipos de protección colectiva necesarios para estos trabajos

- ✓ Balizamiento y señalización de huecos y desniveles
- ✓ Barandillas de protección

Trabajos Instalación eléctrica



Todos los trabajos se ejecutarán de forma manual, con la ayuda de herramientas manuales y eléctricas, así como con el auxilio de escaleras, plataforma elevadora y andamios.

Todas estas operaciones se efectuarán sin corriente, por lo que los riesgos del desarrollo de estas funciones serán prácticamente los generados por el entorno de trabajo.

La revisión de las redes eléctricas y la puesta en funcionamiento correrá a cargo de la empresa adjudicataria de estos trabajos. De cualquier manera, a la empresa que realice los trabajos le será suministrada una copia del PSS de la obra para informarla de todas las actividades y los riesgos que pudieran afectarla, así como se le solicitará información de los riesgos que acarreen sus actividades en la obra.

NOTA:

Los riesgos de este apartado se complementan con capítulos incluidos en el presente PSS, donde analizamos los riesgos de la maquinaria, herramientas y medios auxiliares intervinientes en su ejecución:

- ✓ Herramientas manuales y eléctricas
- ✓ Andamios
- ✓ Escalera de mano
- ✓ Manitou.
- ✓ Plataforma elevadora.

#### Identificación de los riesgos

- ✓ Caídas de personas al mismo nivel.
- ✓ Caídas de personas a distinto nivel.



- ✓ Cortes, golpes y pinchazos.
- ✓ Electrocutación o quemaduras.
- ✓ Los derivados de sobrecarga en la instalación.
- ✓ Pisadas sobre objetos.
- ✓ Sobreesfuerzos.

#### Medidas preventivas

En fase de obra de retirada de equipos, se esmerará el orden y la limpieza de la obra, para evitar los riesgos por pisadas y tropezones.

El desmontaje de aparatos eléctricos será ejecutado siempre por personal especialista.

La iluminación de los tajos, será como mínimo de 100 lux, medidos a 2 m. del suelo.

La iluminación mediante portátiles se efectuará utilizando “portalámparas estancos con mango aislante” y rejilla de protección de la bombilla.

Las conexiones, desconexiones y trabajos de manipulación de equipos se realizarán siempre sin tensión.

Durante los trabajos eléctricos se aislará la zona de actuación, desconectando los aparatos de seccionamiento. Se bloquearán los aparatos de corte, y se señalizará mediante carteles que indiquen que se está trabajando.

Se prohíbe el conexionado de cables a los cuadros de suministro eléctrico, sin la utilización de las clavijas macho-hembra.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Las escaleras de mano serán del tipo de tijera, dotadas con zapatas antideslizantes y cadenilla limitadora de apertura, para evitar los riesgos por trabajos realizados sobre superficies inseguras y estrechas.

Se prohíbe la formación de andamios, utilizando escaleras de tijera a modo de borriquetas.

Se prohíbe en general en la obra, la utilización de escaleras de mano o andamios sobre borriquetas, en lugares de riesgo de caída desde altura durante los trabajos de electricidad, si antes no se han instalado las protecciones de seguridad adecuadas.

Las instalaciones estarán provistas de puestas a tierra y deberán cumplir lo indicado en el RBT en su instrucción complementaria MIE BT 039.

Deberá solicitarse una copia del Boletín de Instalación eléctrica auxiliar de obras al Técnico instalador.

En ningún caso podrán modificarse las condiciones o protecciones de un cuadro eléctrico.

La maquinaria eléctrica portátil, constará de doble aislamiento como protección eléctrica.

Los cuadros eléctricos que dispongan de tensión para poder conectar las herramientas eléctricas, deben permanecer libres de obstáculos almacenados en su entorno, para facilitar un rápido acceso en caso de necesidad.

Todos los cuadros eléctricos, deberán ir señalizados con la señal de riesgo eléctrico y deberán permanecer cerrados bajo llave en todo momento.

La instalación de alumbrado general, para las instalaciones provisionales de obra, y demás casetas, estará protegida por interruptores automáticos magneto térmicos.

Toda la maquinaria eléctrica estará protegida por un disyuntor diferencial y las partes metálicas de todo equipo eléctrico dispondrán de toma de tierra.

Las bases de conexión que se encuentren en el exterior del armario, deben



ser de tipo estanco.

Deben realizarse revisiones periódicas del cuadro por personal especializado y realizándose acta de las mismas.

Queda terminantemente prohibido realizar conexiones a cables pelados y empalmes.

Cuando deban tenderse cables por el suelo, se protegerán frente al paso de vehículos (enterrarlos o poner planchas).

La herramienta manual se revisará con periodicidad, para evitar cortes y golpes por su uso, que puedan deteriorar la parte aislante de la herramienta.

Las herramientas de los instaladores eléctricos, cuyo aislamiento esté deteriorado, deberán ser retiradas y sustituidas por otras en buen estado.

La pistola clavadora utilizada para fijar pernos, puntas, tornillos, etc., debe de utilizarse con máxima precisión. Deberá de poseer una defensa en la extremidad del tubo en forma de cazoleta, para retener los fragmentos que puedan saltar. La pistola se transportará en su funda o caja, y no se guardará nunca cargada.

Las pruebas de funcionamiento de la instalación eléctrica, serán anunciadas a todo el personal de la obra antes de ser iniciadas, para evitar accidentes.

Las pruebas de funcionamiento de la instalación eléctrica, se harán después de haber comprobado el acabado de ésta, cuidando que ningún punto quede accesible a terceros, y que las uniones y empalmes estén perfectamente aislados.

Antes de hacer entrar en carga la instalación eléctrica, se hará una revisión en profundidad de las conexiones de mecanismos, protecciones y empalmes de los cuadros generales eléctricos.

Se señalarán y delimitarán las zonas de trabajo.



Trabajos en la proximidad de líneas eléctricas de baja tensión

Toda la instalación será considerada bajo tensión mientras no se compruebe lo contrario con aparatos destinados al efecto.

Si hay posibilidad de contacto eléctrico, siempre que sea posible, se cortará la tensión de la línea.

Si esto no es posible, se pondrán pantallas protectoras o se instalarán vainas aislantes en cada uno de los conductores, o se aislará a los trabajadores con respecto a tierra.

Los recubrimientos aislantes no se instalarán cuando la línea esté en tensión, serán continuos y fijados convenientemente para evitar que se desplacen. Para colocar dichas protecciones será necesario dirigirse a la compañía suministradora, que indicará el material adecuado.

Antes de hacer las pruebas con tensión se ha de revisar la instalación, cuidando de que no queden accesibles a terceros, uniones, empalmes y cuadros abiertos, comprobando la correcta disposición de fusibles, terminales, protección - diferenciales, puesta a tierra, cerradura y manguera en cuadros y grupos eléctricos.

Los mangos de las herramientas manuales estarán protegidos con doble aislamiento a base de materiales dieléctricos, quedando prohibida su manipulación u alteración. Si el aislamiento está deteriorado se retirará la herramienta.

Los montajes y desmontajes eléctricos serán efectuados por personal especializado.

Todo el personal que manipule conductores y aparatos accionados por electricidad, estará dotado de guantes aislantes y calzado de goma. Queda prohibido usar como toma de tierra la canalización de calefacción.

Las máquinas portátiles que se usen tendrán doble aislamiento.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Nunca se usará como toma de tierra o neutro la canalización de calefacción.

Se revisarán las válvulas, mangueras y sopletes para evitar fugas de gases.

Se comprobará el estado general de las herramientas para evitar cortes y golpes.

Las conexiones de electricidad se realizarán siempre sin tensión.

Las pruebas que se tengan que hacer con tensión se harán después de comprobar el acabado de la instalación eléctrica.

Todas las conexiones serán macho o hembra estancas manteniendo al menos el aislamiento del cable los cableados que presenten deficiencias en su aislamiento serán sustituidos inmediatamente.

Se revisará diariamente las conexiones de herramientas a los cuadros eléctricos no permitiendo la sobrecarga de las devanaderas y los alargadores para evitar riesgo de cortocircuitos.

Se recuerda que queda terminantemente prohibido hacer fuego en la obra.

Siempre que se realicen trabajos de instalación eléctrica en altura ( $h > 2$  m.) se colocarán las protecciones colectivas necesarias (barandillas de protección) para evitar el riesgo de caída a distinto nivel. Sí se da la imposibilidad de colocar protecciones colectivas en la zona de trabajo, los operarios OBLIGATORIAMENTE utilizarán en todo momento el arnés de seguridad anticaídas anclado a un punto fijo.

Deberá existir un intercambio de comunicación entre las empresas afectadas, con el fin de coordinarse para detectar las interacciones e incompatibilidades de los distintos trabajos o fases de trabajo que vayan a desarrollarse simultánea o sucesivamente. En los casos aislados, imposibles de evitar, se encontrarán el menor número de operarios en la vertical de los mismos y se protegerán mediante viseras o similares.



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



Equipos de protección individual necesarios para estos trabajos

- ✓ Casco de seguridad.
- ✓ Calzado de seguridad aislante.
- ✓ Guantes aislantes.
- ✓ Ropa de trabajo adecuada.
- ✓ Botas aislantes de la electricidad.
- ✓ Gafas de seguridad.
- ✓ Chaleco de Alta Visibilidad (atendiendo a las normas de seguridad: circulación de maquinaria, vehículos, etc).
- ✓ Arnés de seguridad anticaídas (cuando las protecciones colectivas no se puedan disponer y exista riesgo de caída > 2 m)

Equipos de protección colectiva necesarios para estos trabajos

- ✓ Disposición de interruptores diferenciales de 300 y 30 mA en las tomas de corriente.
- ✓ Toma de tierra.
- ✓ Barandilla de seguridad.
- ✓ Balizamiento y señalización de huecos y desniveles.



- ✓ Doble aislamiento.

### Elementos de izado; cabos, cadenas, ganchos, eslingas y estrobos

#### Identificación de los riesgos

- ✓ Caídas de personas a distinto nivel.
- ✓ Caídas de personas al mismo nivel.
- ✓ Golpes, cortes y heridas.
- ✓ Sobreesfuerzos.
- ✓ Aplastamientos y atrapamientos.

#### Medidas preventivas

Estarán debidamente homologados. Se comprobará la carga máxima permitida y nunca se sobrepasará. En una eslinga nueva no se someterá a su carga máxima.

Las eslingas serán retiradas cuando se tenga la certeza de que el material a manipular esté completamente apoyado en el suelo.

Las eslingas deberán ir acompañadas de unas instrucciones que indiquen condiciones normales de uso, las instrucciones de uso, montaje y mantenimiento, límites de empleo.

Es preciso evitar los cables a la intemperie en el invierno (el frío hace frágil al acero). Antes de utilizar un cable que ha estado expuesto al frío, debe calentarse.

No someter nunca, de inmediato, un cable nuevo a su carga máxima.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Utilícese varias veces bajo una carga reducida, con el fin de obtener un asentamiento y tensión uniforme de todos los hilos que lo componen.

Evítese la formación de cocas.

No utilizar cables demasiado débiles para las cargas que se vayan a transportar.

Elijanse cables suficientemente largos para que el ángulo formado por los ramales no sobrepase los 90°. Cuando por las características de los trabajos se deba superar los 90° siempre se asegurará que antes de izar la carga ésta esté debidamente estable y sujeta.

Existirán ganchos con pestillos de seguridad

Es preciso esforzarse en reducir este ángulo al mínimo.

Para cargas prolongadas, utilícese balancín.

Las eslingas y estrobos no deben dejarse abandonados ni tirados por el suelo.

Deberán conservarse en lugar seco, bien ventilado, al abrigo y resguardo de emanaciones ácidas.

Se cepillarán y engrasarán periódicamente.

Se colgarán de soportes adecuados.

Las eslingas y estrobos serán examinados con detenimiento y periódicamente, con el fin de comprobar si existen deformaciones, alargamiento anormal, rotura de hilos, desgaste, corrosión, etc., que hagan necesaria la sustitución, retirando de servicio los que presenten anomalías que puedan resultar peligrosas.

Se cerciorará el operario, antes de su utilización, del correcto cierre de seguridad.

No se emplearán cables con alma metálica, por su rigidez, para confeccionar eslingas.



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



Se evitará el someter un cable a una carga próxima a la de rotura.

Se revisarán, frecuentemente, los cables, desechando los que presenten alambres rotos, desgastados o corrosión interna (la cuál se evitará engrasándolos periódicamente y almacenándolos en un lugar seco y ventilado, libre de atmósferas corrosivas o polvorientas).

Se revisará la no existencia de nudos, soldaduras, etc en los cables y eslingas.

Se tendrá especial atención a la manipulación de cargas, para evitar tirones o lumbalgias, por lo que se informará y formará a los trabajadores del riesgo de sobreesfuerzos.

Equipos de protección individual necesarios para el uso de estos medios auxiliares

- ✓ Casco de seguridad.
- ✓ Calzado de seguridad.
- ✓ Guantes de cuero.
- ✓ Ropa de trabajo adecuada.
- ✓ Chaleco de Alta Visibilidad.

Equipos de protección colectiva

- ✓ Señalización y balizamiento

Andamios metálicos tubulares



Se dispondrá de la nota de cálculo del andamio elegido, o cuando las configuraciones de las estructuras previstas no estén contempladas en la hoja de cálculo será preciso realizar un cálculo de resistencia y estabilidad.

Se deberá poseer las Instrucciones específicas del fabricante, proveedor o suministrador relativas al montaje, utilización y desmontaje, y realizado en la forma, condiciones y circunstancias previstas en la misma.

El andamio poseerá marcado CE.

Se cumplirá con lo especificado en el REAL DECRETO 2177/2004, de 12 de noviembre, por el que se modifica el Real Decreto 1215/1997, e 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, en materia de trabajos temporales en altura.

En función de la complejidad del andamio elegido, deberá elaborarse un plan de montaje, de utilización y de desmontaje. Este plan y el cálculo a que se refiere el primer párrafo deberán ser realizados por una persona con una formación universitaria que lo habilite para la realización de estas actividades. Este plan podrá adoptar la forma de un plan de aplicación generalizada, completado con elementos correspondientes a los detalles específicos del andamio de que se trate.

Se recuerda que plan de montaje, de utilización y de desmontaje será obligatorio en los siguientes tipos de andamios:

- Plataformas suspendidas de nivel variable (de accionamiento manual o motorizadas), instaladas temporalmente sobre un edificio o una estructura para tareas específicas, y plataformas elevadoras sobre mástil.
- Andamios constituidos con elementos prefabricados apoyados sobre terreno natural, soleras de hormigón, forjados, voladizos u otros elementos cuya altura, desde el nivel inferior de apoyo hasta la



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



coronación de la andamiada, exceda de seis metros o dispongan de elementos horizontales que salven vuelos y distancias superiores entre apoyos de más de ocho metros. Se exceptúan los andamios de caballetes o borriquetas.

- Andamios instalados en el exterior, sobre azoteas, cúpulas, tejados o estructuras superiores cuya distancia entre el nivel de apoyo y el nivel del terreno o del suelo exceda de 24 metros de altura.
- Torres de acceso y torres de trabajo móviles en los que los trabajos se efectúen a más de seis metros de altura desde el punto de operación hasta el suelo.

Sin embargo, cuando se trate de andamios que, a pesar de estar incluidos entre los anteriormente citados, dispongan del marcado “CE”, por serles de aplicación una normativa específica en materia de comercialización, el citado plan podrá ser sustituido por las instrucciones específicas del fabricante, proveedor o suministrador, sobre el montaje, la utilización y el desmontaje de los equipos, salvo que estas operaciones se realicen de forma o en condiciones o circunstancias no previstas en dichas instrucciones.

Identificación de los riesgos

- ✓ Caídas a distinto nivel.
- ✓ Caídas al mismo nivel.
- ✓ Atrapamientos y aplastamientos.
- ✓ Caída de objetos.
- ✓ Golpes por objetos.



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



- ✓ Sobreesfuerzos.

Plataforma elevadora de personas

Identificación de los riesgos

- ✓ Caídas a distinto nivel.
- ✓ Golpes y atrapamientos.
- ✓ Caída de objetos, herramientas u otros utensilios.
- ✓ Atrapamiento.
- ✓ Vuelco de la máquina.
- ✓ Contactos con la energía eléctrica.
- ✓ Colisión o golpes.

Medidas preventivas

Todo el personal que maneje una plataforma elevadora poseerá certificación por parte de su empresa que lo autorice para el uso de esta maquinaria. Todo el personal que maneje esta máquina deberá acreditar que ha sido informado y formado de los riesgos específicos de la misma.

La circulación y estacionamiento de vehículos al borde de la excavación se realizará aplicando una distancia de seguridad de 2 metros.

En casos en los que haya que disminuir la distancia de seguridad, una vez comprobada la resistencia del terreno, se procederá a colocar topes de fin de recorrido ó se dispondrá de señalista que se situará en zonas muy visibles y controladas. En aquellas maniobras con falta de visibilidad se



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



hará uso exclusivo de señalista, situándose asimismo en zona visible y controlada.

No elevar la plataforma con fuertes vientos (velocidad límite indicada por el fabricante o, en su defecto, 50 Km/h), condiciones meteorológicas adversas, ni haciendo uso de una superficie inestable o resbaladiza.

No colocar objetos en la plataforma de trabajo que podrían aumentar significativamente la superficie expuesta al viento y afectar, de esta manera, la estabilidad de la máquina.

No superar la capacidad nominal de la plataforma

No se debe emplear la plataforma como grúa, ni sobrecargarla ni sujetarla a estructuras fijas.

No se pueden utilizar medios auxiliares para incrementar la altura.

No utilizar plataformas en el interior de recintos cerrados, salvo que estén bien ventilados

El aparcamiento debe realizarse en zonas señalizadas, se deben cerrar los contactos y verificar la inmovilización falcando las ruedas, si es necesario.

Las plataformas deben cumplir con unos requisitos de seguridad en cuanto a la resistencia de sus estructuras y de estabilidad, que deben estar perfectamente definidos por el fabricante para cada posición de trabajo de la plataforma y de las distintas combinaciones de cargas y fuerzas.

Las plataformas deben contar con dispositivos que impidan la traslación cuando no esté en posición de transporte y que indiquen si la inclinación o pendiente del chasis está dentro de los límites máximos admisibles. Igualmente, deben disponer de una señal sonora audible cuando se alcanzan los límites máximos de inclinación.

En caso de estabilizadores motorizados, debe existir un dispositivo de seguridad que impida su movimiento si la plataforma no está en posición de transporte o en sus límites de posición.

Cerciorarse de que la unidad esté total y adecuadamente equipada e



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



incluya barandillas de la plataforma, los peldaños de acceso, y todas las cubiertas, puertas, protectores y controles.

Debe haber barandillas en todo el perímetro de la plataforma a una altura mínima de 0,90 m y disponer de puntos de anclaje para equipos de protección individual.

Debe existir una protección que impida el paso o el deslizamiento de objetos y que evite que puedan caer sobre las personas.

La puerta de acceso a la plataforma tiene que tener la abertura hacia el interior y contar con un cierre o bloqueo automático.

El suelo, incluida una posible trampilla, debe ser antideslizante y con intersticios cuyas medidas impidan el paso de una esfera que sobrepase los 15 mm. de diámetro.

Deben disponer de dos sistemas de mando, uno en la plataforma y otro accionable desde el suelo.

Los mandos deben ser direccionales en la dirección de la función, volviendo a la posición de paro o neutra automáticamente cuando se deja de actuar sobre los mismos; deben estar marcados indeleblemente según códigos normalizados.

Debe haber sistemas auxiliares de descenso en caso de fallo del sistema primario, sistema de seguridad de inclinación máxima, paro de emergencia y sistema de advertencia, cuando la base de la plataforma se inclina más de 5 grados de la máxima permitida.

Las bases de apoyo se deben adaptar a superficies con desnivel máximo de 10°.

Mantener limpios los rótulos de seguridad instalados en la máquina y reemplazar los que falten.

Mantener la plataforma siempre limpia, libre de suciedad, escombros o grasa.

Para evitar daños en caso de soldar en la máquina misma, desconectar



todos los componentes electrónicos antes de iniciar la tarea.

Nivelar perfectamente la plataforma utilizando siempre los estabilizadores cuando existan. En estos supuestos no se deberá elevar la plataforma a menos que la base y las patas estén correctamente instalados y los puntos de apoyo fijados en el suelo.

No mover la máquina cuando la plataforma esté elevada salvo que esté específicamente diseñada para ello.

No situar ni colgar ninguna carga que suponga un sobrepeso en ninguna parte de la máquina.

No alterar ni desconectar componentes de la máquina que puedan afectar su estabilidad y/o seguridad. En particular, no reemplazar piezas importantes para la estabilidad por otras de peso y especificaciones distintas. Usar solamente piezas de recambio autorizadas por el fabricante.

No sentarse, ponerse de pie o montarse en las barandillas de la cesta. Mantener en todo momento una posición segura en la base de la plataforma. No salir de la plataforma cuando ésta se encuentre elevada.

No subir o bajar de la plataforma con esta en movimiento. No trepar nunca por los dispositivos de elevación.

Cuando se trabaje en altura, cuidar de mantener las distancias de seguridad con respecto de las redes eléctricas de acuerdo con las regulaciones existentes.

Tener cuidado con los riesgos de choque en particular cuando se tienen las manos en las barandillas de la cesta.

Se prohibirán trabajos debajo de las plataformas, así como en zonas situadas por encima de las mismas, mientras se trabaje en ellas. En el suelo, la zona que queda bajo la máquina y sus inmediaciones, se acotará para impedir el tránsito, con el fin de evitar la posible caída de objetos y materiales sobre las personas.

Nunca levantar la plataforma cuando se vean objetos que puedan obstruir



TRABAJO FIN DE GRADO  
*“Microturbina de biogás en E.D.A.R”*



su movimiento ni se coloque el operario en posición de interferencia entre la plataforma y los objetos elevados.

Vigilar y suprimir cualquier obstáculo que impida el desplazamiento o elevación, dejando espacio libre sobre la cabeza.

No bajar la plataforma a menos que el área de trabajo se encuentre despejada de personal y objetos.

Conducir con suavidad y evitar los desplazamientos con exceso de suavidad.

No operar la plataforma cerca de aparatos de transmisión de radio de alta potencia ya que estos pueden afectar determinadas funciones de la misma.

No operar con la máquina cerca de líneas o equipos eléctricos activos.

Nunca operar una plataforma de trabajo a menos de la distancia mínima de una fuente de energía o línea eléctrica sin notificar primero a la compañía de electricidad. Obtener la certeza absoluta de que la energía fue desconectada.

Las líneas eléctricas aéreas se mueven con el viento. Tenerlo en cuenta cuando se determinen las distancias seguras de operación.

Evitar el uso de máquinas con motor de combustión en lugares cerrados salvo que están bien ventilados.

En caso de disponer de cuadro de mandos en la base, en el manejo de la plataforma desde ese punto, separarse de la máquina para evitar que daños en la bajada.

Será obligatorio el uso del arnés de seguridad anticaídas dentro de la plataforma elevadora de personas, si así lo requiere el manual de uso-

Antes de su uso debe realizarse una inspección visual de la estructura y comprobar si hay escapes, cables dañados, conexiones eléctricas, estado de los neumáticos, ruedas, niveles, baterías (cuidado con las chispas de soldadura), partes móviles, controles y mandos.

Hay que comprobar el correcto funcionamiento de los controles de



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



operación, evaluar los defectos detectados y avisar al equipo de mantenimiento o poner la plataforma fuera de servicio, en su caso.

Verificar que la alarma de inclinación de la máquina funciona correctamente.

Usar toda la protección necesaria.

Verificar pendientes, obstáculos, socavones y otros impedimentos. Mantener limpia la zona de trabajo y planificar los movimientos necesarios para el desarrollo de su labor.

Al finalizar el trabajo, aparcar la máquina convenientemente.

Mantener siempre limpia la plataforma de grasa y de aceite para evitar resbalones. Retirar toda la suciedad y tener especial cuidado con el agua para evitar que puedan mojarse los cables y partes eléctricas de la máquina.

Retirar las llaves de contacto y dejarlas en un lugar habilitado para ello y colocar un cartel que diga “fuera de servicio” en un lugar visible.

Cerrar todos los contactos y verificar la inmovilización de la plataforma.

Cerrar bien la máquina y asegurarla contra la utilización no autorizada y vandalismo (quitar la llave de encendido).

#### **9.4. DISPOSICIONES LEGALES DE APLICACIÓN**

Son de obligado cumplimiento las disposiciones contenidas en:

- Orden del M<sup>o</sup> de Trabajo de 9 de marzo de 1971. Ordenanza general de seguridad e higiene en el trabajo. B.O.E. 16 y 17 de marzo de 1971.
- Ley 31/1995, de 8 de noviembre. Prevención de riesgos laborales. B.O.E. de 10 de noviembre de 1995.



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero. Reglamento de los servicios de prevención. B.O.E. de 31 de enero de 1997.
  
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud en las obras de construcción. B.O.E. de 25 de octubre de 1997.
  
- Real Decreto 485/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
  
- Real Decreto 486/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
  
- Real Decreto 487/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la manipulación manual de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares, para los trabajadores. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
  
- Real Decreto 488/1997, de 14 de abril. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización. B.O.E. de 23 de abril de 1997.
  
- Real Decreto 773/1997, de 30 de mayo. Disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual. B.O.E. de 12 de junio de 1997.
  
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de julio. Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de equipos de trabajo. B.O.E. de 7 de agosto de 1997.
  
- Real Decreto 1316/1989, de 27 de octubre. Protección de los trabajadores



TRABAJO FIN DE GRADO  
"Microturbina de biogás en E.D.A.R"



frente a los riesgos derivados de la exposición al ruido durante el trabajo.

- Real Decreto 1495/1986, de 26 de mayo. Reglamento de seguridad en las máquinas. B.O.E. de 21 de julio de 1986.
- Orden Ministerial de 17 de mayo de 1974. Homologación de los medios de protección personal de los trabajadores. B.O.E. de 29 de mayo de 1974.
- Orden Ministerial de 20 de septiembre de 1973. Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión. B.O.E. de 9 de octubre de 1973.
- Orden Ministerial de 23 de mayo de 1977. Reglamento de aparatos elevadores para obras. B.O.E. de 14 de junio de 1977.
- Estatuto de los Trabajadores.
- Convenio Colectivo Provincial PARA LOS GREMIOS AFECTADOS.

### **9.5. OBLIGACIONES DE CONTRATISTAS Y SUBCONTRATISTAS**

Los Contratistas y Subcontratistas estarán obligados a:

- Aplicar los principios de la acción preventiva que se recogen en el artículo 15 de la Ley de Prevención de Riesgos Laborales, en particular a desarrollar las tareas o actividades indicadas en el artículo 10 del RD 1627/1997 de 24 de octubre, y reflejadas en este Estudio Básico.
- Cumplir y hacer cumplir a su personal lo establecido en el Plan de Seguridad y Salud confeccionado a partir de este estudio.
- Cumplir la normativa en materia de prevención de riesgos laborales, así



como cumplir con las disposiciones mínimas de seguridad y salud en la obra.

- Informar y proporcionar las instrucciones adecuadas a los trabajadores autónomos sobre todas las medidas que hayan de adoptarse en lo que se refiere a su seguridad y salud en la obra.
- Atender las indicaciones y cumplir las instrucciones del coordinador en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra, o, en su caso, de la Dirección Facultativa.

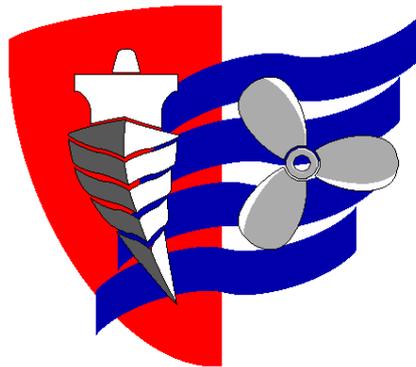
## **9.6. UBICACIÓN DE SERVICIOS MÉDICOS**

Primeros Auxilios. Servicios Médicos Hospital y Urgencias.

- Centro de salud Llanes. 800 metros.
- Clínica ambulatoria de Llanes. 1,5 kilómetros.



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE NÁUTICA  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA**



**BIBLIOGRAFÍA**



## 10 BIBLIOGRAFÍA

- La Biomasa como fuente de Energía y Productos para la Agricultura y la Industria.

Serie de ponencias.  
Editorial Ciemat.  
1990.

- Clasificación de tecnologías de digestión anaerobia. Aplicación al aprovechamiento energético de residuos ganaderos. Aprovechamiento energético de residuos orgánicos.

Flotats, X., Bonmatí, A., y Seró, M.  
1997.

- Biomasa: Digestores Anaerobios.

IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).  
Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

- Nuevas tecnologías: Microturbinado.

Capstone Turbine Corporation.  
[www.capstoneturbine.com](http://www.capstoneturbine.com)

- Biomasa: Producción eléctrica y cogeneración.

Departamento de Energía. IDEA.  
2007.



- Motores alternativos de gas: motores térmicos para generación eléctrica.

Santiago García Garrido, Diego Fraile Chico, Javier Fraile Martín.  
Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid: Consejería de Economía y Hacienda.  
2010.

- An analysis of CH<sub>4</sub>/N<sub>2</sub> rich biogas production, fuel treatment process and microturbine application.

Jungkeuk Park, Kwangbeom Hur, Sanggyu Rhim, Ho Kang.  
Online Article.  
23 December 2010.

- Estado actual de la tecnología de las microturbinas de gas.

Bruno, J.C; Hineirosa, A; Coronas, A.  
Revista de Ingeniería Energética.  
2002.

- Aprovechamiento energético del biogás producido en la digestión anaerobia de los lodos de E.D.A.R.

Eugenio Muñoz Camacho, Fernando Manuel Sánchez López.  
Revista: Residuos, 2005 ENE-FEB; (82).  
2005.

- Plantas de biogás en explotaciones ganaderas.

Ángel Porta.  
Ecologic biogás.  
[www.ecobiogas.es](http://www.ecobiogas.es)



TRABAJO FIN DE GRADO  
“Microturbina de biogás en E.D.A.R”



- General characteristics of single shaft microturbine set at variable speed operation and its optimization.

Wang W, Cai R, Zhang N.  
Applied Thermal Engineering.  
2004.

- Experimentation on a cogenerative system based on a microturbine.

L. Colombo, F. Armanasco, O. Perego.  
Politecnico di Milano.  
Milan, Italy, 2007.

- Guía técnica para la medida y determinación del calor útil, de la electricidad y del ahorro de energía primaria de cogeneración de alta eficiencia.

IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía).  
Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.  
Abril 2008.



## **AVISO:**

Este documento es el resultado del Trabajo Fin de Grado de un alumno, siendo su autor responsable de su contenido.

Se trata por tanto de un trabajo académico que puede contener errores detectados por el tribunal y que pueden no haber sido corregidos por el autor en la presente edición.

Debido a dicha orientación académica no debe hacerse un uso profesional de su contenido.

Este tipo de trabajos, junto con su defensa, pueden haber obtenido una nota que oscila entre 5 y 10 puntos, por lo que la calidad y el número de errores que puedan contener difieren en gran medida entre unos trabajos y otros.

La Universidad de Cantabria, la Escuela Técnica Superior de Náutica, los miembros del Tribunal de Trabajos Fin de Grado, así como el profesor tutor/director no son responsables del contenido último de este Trabajo.