



Soluciones en sostenibilidad y conectividad

RESUMEN: PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN LA SERENA

BTW BEYOND
THE WASTE



Índice de contenido

1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Problemática actual.....	10
1.2 El biogás en Europa	11
1.3 El biogás en España	13
2. PROPUESTA	15
3. PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN	16
3.1 Introducción.....	16
3.2 Ubicación	17
3.3 Descripción de los aspectos principales del proceso.....	17
3.3.1 Qué es el alperujo.....	17
3.3.2 Proceso principal: Biometanización.....	18
3.3.3 Biogás.....	19
3.3.4 Biometano	19
3.3.5 Digestato.....	19
3.4 Elementos que componen la planta	19
3.4.1 Balsa de almacenamiento de alperujo	19
3.4.2 Sistema de alimentación.....	19
3.4.3 Pre-tanque.....	19
3.4.4 Fermentadores	20
3.4.5 Digestor terciario	21
3.4.6 Procesos de fermentación en tanques	21
3.4.7 Módulo técnico	22
3.4.8 Separador de tornillo.....	22
3.4.9 Antorcha de emergencia	22
3.4.10 Mejora del biogás (<i>Upgrading</i>)	23
3.5 La planta	24
3.6 Producción e inyección de biometano	25
3.7 Consumos.....	26
3.7.1 Eléctrico	26
3.7.2 Térmico	27
4. ANEXOS.....	28
4.1 Layout.....	29
4.2 Diagrama de bloques	31

Índice de tablas

Tabla 1. Composición del gas a inyectar en la red gasista	14
Tabla 2: Consumos eléctricos de la planta de biometanización.....	26
Tabla 3: Consumos térmicos de la planta de biometanización.	27

Índice de gráficas

Gráfica 1: kg de CO ₂ / Tn de residuo.	9
Gráfica 2: (izda.) Número total de plantas de biogás en países de la UE; (dcha.) número de plantas por millón de habitantes (2017).	11
Gráfica 3: Distribución de plantas por tipo de materia prima.	13

Índice de diagramas

Diagrama 1: Propuesta de producción de biometano.....	15
Diagrama 2: Esquema de la propuesta.	15
Diagrama 3: Planta de biometanización.	16
Diagrama 4: Proceso en el interior de una planta de biometanización.	18
Diagrama 5. Línea de producción biometano.	25

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Economía circular.....	7
Ilustración 2 : Número de plantas de biometano en países europeos (izquierda) y número por millón de habitantes (derecha).....	12
Ilustración 3. Ubicación de la planta de biometanización.....	17
Ilustración 4: Aceitunas antes de la extracción de aceite.....	18
Ilustración 5: Módulo técnico.....	22
Ilustración 6: Proceso de separación de membranas.	24
Ilustración 7. Imagen satelital de la red de gas y planta de biogás.....	26

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, se está experimentando un creciente interés por la preocupación medioambiental. Una de las características de la sociedad de consumo especialmente acentuada en las últimas décadas, y que la mejor la define, es la generación de residuos. Todas las actividades humanas, cualquiera que sea su campo de actuación (agrícola, forestal, ganadera, industrial o urbana), generan residuos. Las ciudades, las industrias y la agricultura demandan sitios en los que ubicar sus residuos, o métodos para tratarlos de forma que no causen impactos adversos en el medio ambiente, y este interés social se ha visto reflejado en el campo de la investigación científica.

Los residuos pueden ser definidos como materias generadas en las actividades de producción y consumo que no alcanzan, en el contexto en el que se producen, un valor económico debido a la insuficiencia de medios tecnológicos para su aprovechamiento o a la poca demanda en el mercado de los productos recuperados.

En la actualidad, muchos de estos residuos carecen de un tratamiento para su revalorización y su disposición final son vertederos que causan graves afecciones ambientales y en la salud humana, como son:

- Contaminación de suelos.
- Contaminación de acuíferos por lixiviados.
- Contaminación de las aguas superficiales.
- Emisión de gases de efecto invernadero fruto de la combustión incontrolada de los materiales allí vertidos.
- Ocupación incontrolada del territorio generando la destrucción del paisaje y de los espacios naturales.
- Creación de focos infecciosos y proliferación de plagas de roedores e insectos.
- Producción de malos olores.

Esto se debe al modelo actual de producción y consumo que posee una estructura lineal: PRODUCCIÓN-CONSUMO-DESECHO. La forma de combatir estos efectos es el de aplicar una economía circular, es decir, convertir los residuos en recursos.

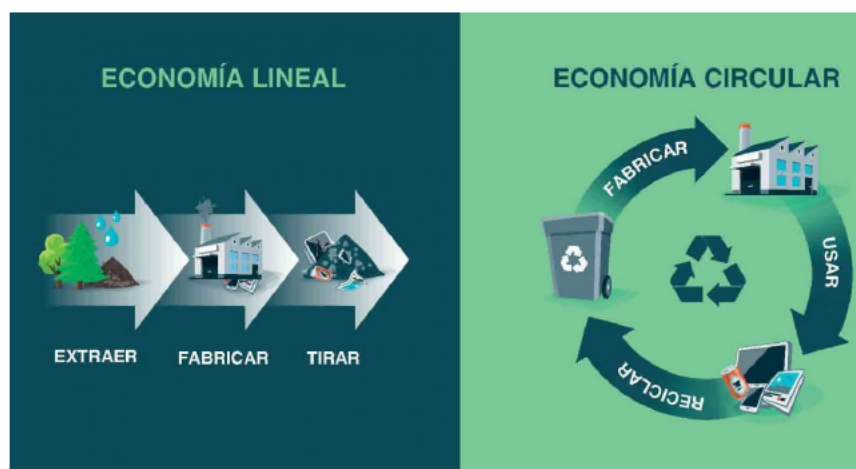


Ilustración 1: Economía circular.

El aprovechamiento de los residuos orgánicos supone una fuente considerable de energía, agua y fertilizantes, evitando la contaminación del medio natural.

Además, la demanda energética va en aumento debido al incremento de la población y la industrialización, provocando notablemente una escasez de los recursos y a su vez un aumento del precio de los combustibles fósiles de carácter no renovable. En el contexto de guerra actual, se pone de manifiesto la necesidad de alternativas a la energía convencional, y el aprovechamiento de recursos.

En consecuencia, el gobierno español está implantando medidas para el control y tratamiento de residuos, como, por ejemplo, la Ley 7/2022, del 8 de abril, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, que establece, entre otras cosas, que las administraciones públicas tendrán que elaborar un programa de actuaciones para reducir los residuos biodegradables destinados en los vertederos.

Existen varias alternativas para el tratamiento de residuos, entre ellas se pueden encontrar las siguientes opciones.

- **Producción de biogás y biometano**

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el que se transforma materia orgánica en dos productos: biogás y digestato. El biogás está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2), en muchos casos en proporciones similares, aunque depende de la materia orgánica utilizada. Este proceso se realiza en reactores llamados digestores, en ausencia de oxígeno, y alimentados por el sustrato, es decir, la materia orgánica, manteniendo condiciones de operación óptimas. El digestato constituye una excelente materia prima para la fabricación de abono.

Al provenir de residuos orgánicos, el biogás es catalogado como energía renovable y puede ser utilizado en diferentes aplicaciones energéticas como son la eléctrica, térmica o como carburante. A su vez, si el biogás se valoriza a través de un proceso conocido como *upgrading*, se obtiene biometano de alta pureza para inyectar a la red de gas natural y así reemplazar dicho combustible de origen fósil. Por otro lado, se produce CO_2 que se puede emitir o bien utilizar en otras industrias, como, por ejemplo, la alimenticia. Debido al elevado potencial de calentamiento global que presenta el metano, el cual es 21 veces superior al del CO_2 , es esencial poder aprovecharlo para contribuir a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

En otros casos en los que no se realiza el *upgrading*, el gas es directamente utilizado para el autoabastecimiento de la planta, o bien, para generar energía eléctrica e inyectarla a la red.

- **Compostaje**

El compostaje es un proceso de oxidación biológica bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación. Los microorganismos utilizan el carbono y nitrógeno disponible en los residuos orgánicos, liberando energía por la actividad metabólica y produciéndose, gracias a una serie de reacciones bioquímicas, agua, dióxido de carbono y sales minerales. Durante este proceso, la materia orgánica heterogénea es transformada en *compost* que se utiliza como enmienda orgánica en

el suelo, con el fin de mejorar su estructura, como fertilizante orgánico y como sustrato para la producción de plantas, entre otros usos.

- **Incineración de residuos**

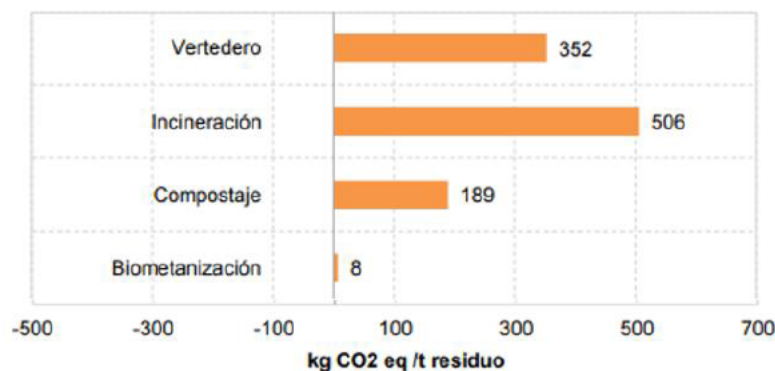
La incineración de residuos es la oxidación de las materias combustibles contenidas en el residuo. Durante la incineración, se generan gases de combustión que contienen la mayoría de la energía de combustión disponible en forma de calor. Las sustancias orgánicas de los residuos se queman al alcanzar la temperatura de ignición necesaria y entrar en contacto con oxígeno. El proceso de combustión en sí se produce en la fase gaseosa en fracciones de segundo y libera energía de forma simultánea. Cuando el poder calorífico del residuo y el suministro de oxígeno es suficiente, se puede producir una reacción térmica en cadena y combustión autoalimentada, es decir, que no requiera la adición de otros combustibles.

- **Eliminación en vertedero**

El vertedero sanitario o controlado es un depósito final de residuos autorizado por el gobierno municipal. Su impacto en el medio ambiente depende de la eficacia de las medidas tomadas por el organismo responsable. Para minimizar la contaminación se llevan a cabo medidas como la impermeabilización de la superficie que evita que los contaminantes lleguen al suelo natural y agua subterránea, y la recuperación del biogás generado por la descomposición de los residuos. Para que este biogás se produzca es necesario un entorno anaeróbico que permita a los microorganismos biodegradar la materia orgánica.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es la huella de carbono (HC) que genera el sistema de tratamiento escogido, ya que es un indicador de sostenibilidad y de impacto hacia el cambio climático, debido a que aporta información sobre la cantidad de gases de efecto invernadero que emite a la atmósfera en el desarrollo de la actividad.

Se ha realizado una comparación objetiva entre los diferentes sistemas de tratamiento de residuo, estimando las emisiones de gases de efecto invernadero que generan por unidad de residuo producido. A continuación, se muestra la gráfica donde se reflejan las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) de los diferentes tratamientos:



Gráfica 1: kg de CO₂/ Tn de residuo.

Se puede observar en la gráfica 1, que el sistema de biometanización es el tratamiento que genera menos gases nocivos en el medio ambiente, siendo en este caso la mejor opción para el tratamiento de fracción orgánica.

1.1 Problemática actual

Uno de los sectores de la industria más importantes en España es el agrícola, concretamente, es la principal productora y exportadora mundial de aceite de oliva, con una superficie dedicada a la oliva de 2,5 millones de hectáreas aproximadamente. En concreto, dentro de España, Extremadura cuenta con 278,081 hectáreas de olivas, lo que representa el 10,7% de la producción nacional y el 2,43% de la producción internacional.

En el proceso de obtención del aceite, además, se generan diferentes tipos de residuos. Entre ellos destaca el alperujo, el principal residuo que se produce en este tipo de industria. Para hacernos una idea, por cada tonelada de aceite de oliva producido se generan 4 kg de alperujo. En la campaña de 2021/2022 en España se produjeron 1,3 millones de toneladas de aceite de oliva, generando un total de 5,2 millones de toneladas de alperujo. En Extremadura se alcanzó una producción de aceite de oliva de 103.000 toneladas, por lo que se generó un promedio de 412.000 toneladas de alperujo.

En una región como Extremadura, en la que la base de su economía ha sido tradicionalmente la agricultura, las industrias relacionadas con este sector ocupan un lugar importante. Los residuos que generan son fundamentalmente de naturaleza orgánica y generalmente su aprovechamiento es escaso debido a la falta de tecnología adecuada o al escaso valor que se le da al producto recuperado. En los últimos años, se está observando un creciente interés por la utilización de los residuos agroindustriales, debido fundamentalmente a la necesidad de encontrar aplicaciones que ayuden a solucionar el problema que ellos originan.

El tratamiento del alperujo es de extrema importancia, ya que su vertido incontrolado provoca problemas de coloración de las aguas, suponiendo una amenaza para la biodiversidad acuática, deterioro del suelo, fitotoxicidad y olores.

Actualmente, este residuo se trata de dos maneras distintas. Por un lado, las orujeras tratan este subproducto y aprovechan su aceite restante bien a través de una nueva centrifugación o mediante su extracción química con disolventes. Este aceite extraído es conocido como aceite de orujo de oliva. Este aceite se produce y distribuye ya que tiene diferentes usos en la industria. La segunda salida que se le da a este residuo es la del compostaje. Sin embargo, este aceite es de baja calidad y no tiene un gran provecho económico.

Otra de las alternativas es compostarlo para producir fertilizante. Para ello, se mezcla el alperujo con la propia hoja de olivo procedente de la limpieza de la aceituna, para darle estructura, y se añade estiércol para mejorar su contenido en nitrógeno. Se emplean sistemas de compostaje sencillos, abiertos y con los volteos mecánicos para airear las pilas. Una vez compostado, el producto se incorpora en las entrecalles de los olivares asociados a las propias almazaras. Se debe tener en cuenta que fruto de esa

actividad, se emiten dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) en distintas proporciones dependiendo de diversos factores.

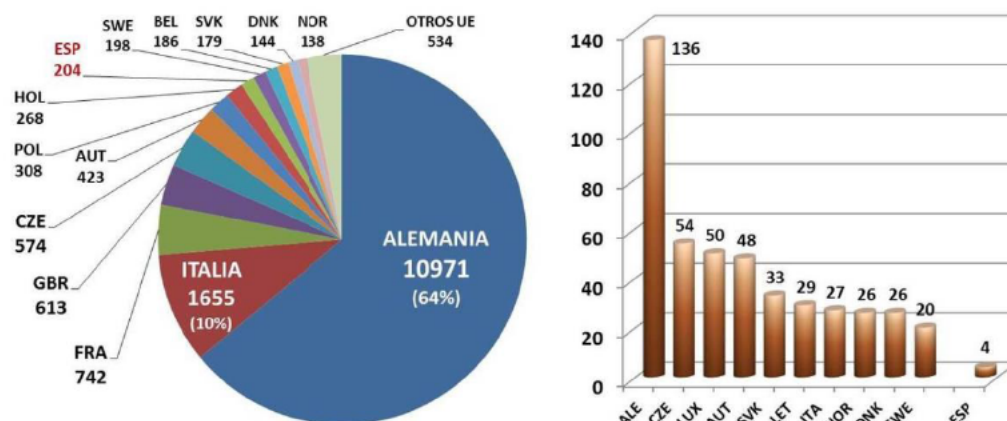
Este proyecto busca dar una mejor solución económica y sostenible a los residuos generados en las almazaras situadas en el entorno de la ubicación de la planta. Existen gran cantidad de fincas distribuidas a lo largo del país con la misma problemática. Por esta razón el tratamiento del alperujo es clave en el proceso de generación de aceite. Actualmente, hay en torno a 1.828 entidades productoras de aceite de oliva, entre cooperativas y almazaras privadas.

Es evidente que el procesado del alperujo es un eslabón importante de la cadena de valor del sector oleícola, por cuanto permite valorizar los subproductos del proceso, que actualmente suponen un coste para las almazaras y un problema para el medioambiente.

Dadas las características del alperujo, la mejor alternativa para su revalorización es la producción de biogás en digestores anaeróbicos para posteriormente obtener el biometano e inyectarlo a la red de gas natural.

1.2 El biogás en Europa

El crecimiento constante del número de plantas de biogás europeas durante la última década indica la robustez del sector. Según la Asociación Europea de Biogás (EBA), a finales de 2017, había 17.783 plantas de biogás en Europa con una capacidad eléctrica instalada de 10.532 MW. La electricidad producida a partir de biogás ascendió a un total de 65.179 GWh. La distribución de las plantas por países y millón de habitantes se muestra en la siguiente figura:



Gráfica 2: (izda.) Número total de plantas de biogás en países de la UE; (dcha.) número de plantas por millón de habitantes (2017).

El sector ha seguido creciendo y a finales de 2019, había ya un total de 18.943 plantas con una producción de 167 TWh o 15.800 millones de metros cúbicos de biogás

A partir del biogás, se puede producir biometano. La producción de este combustible sigue creciendo de forma significativa. En 2019 aumentó en un 15 % en relación con el año anterior, el mayor aumento en las plantas de biometano hasta la fecha. Desde las 187 plantas instaladas en 2011, se alcanzaron las 540 plantas en 2017. La distribución europea por países es notablemente irregular, tal como se muestra en la siguiente figura:

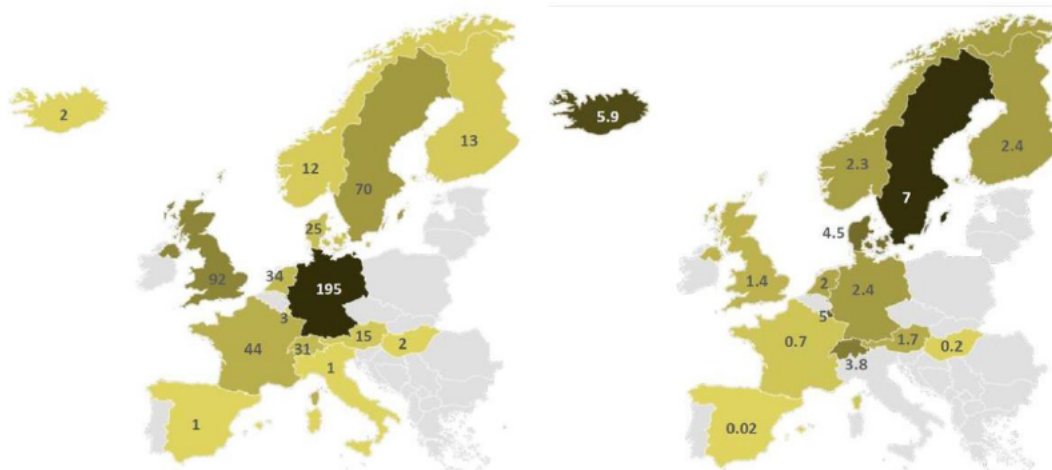
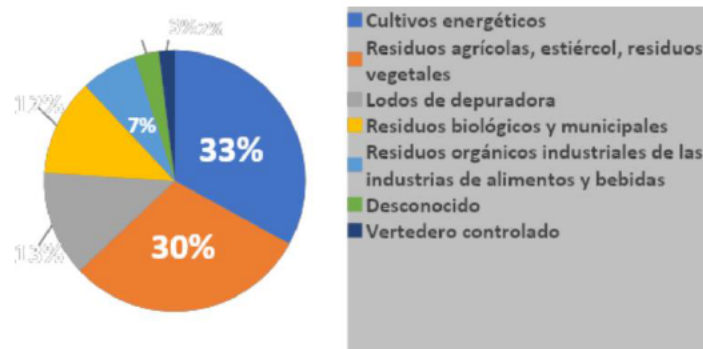


Ilustración 2 : Número de plantas de biometano en países europeos (izquierda) y número por millón de habitantes (derecha).

Su producción ha seguido creciendo y ya en 2020, había 729 plantas de biometano instaladas en Europa; de ellas, la tercera parte (232), solo en Alemania. Francia le sigue en importancia, con un gran crecimiento (131 plantas). Reino Unido, Suecia, Países Bajos y Dinamarca, presentan asimismo un elevado número de plantas (80, 70, 53 y 46, respectivamente) y altos ratios por millón de habitantes. España, sin embargo, cuenta tan sólo con una planta y el ratio más bajo por habitante de la UE en 2020.

Cabe destacar la posición de Alemania y el importante crecimiento que ha tenido Francia, a través principalmente de plantas agrícolas, superando a países precursores como Reino Unido y Suecia. Francia lidera el desarrollo del mercado del biometano con más de 1.000 proyectos de inyección de biometano en diferentes etapas de desarrollo en el país. Europa ha experimentado un rápido aumento interanual de la capacidad de producción de biometano y, hasta ahora, este crecimiento no muestra signos de desaceleración. La gráfica 3 muestra la distribución de plantas en función del tipo de materia prima.

Como se ha comentado, el biometano puede inyectarse en la red de gas natural, comprimirse y transportarse, o utilizarse como alternativa al gas natural como combustible para vehículos. Además, se puede convertir nuevamente en electricidad transformando la red de gas natural en un vasto sistema de almacenamiento de energía.



Gráfica 3: Distribución de plantas por tipo de materia prima.

1.3 El biogás en España

Actualmente en España se cuenta con 146 instalaciones de biogás que en conjunto tienen una producción energética de 2,74 TWh. Estas plantas de biogás están asociadas a residuos de diferentes industrias. De las 146 plantas, 46 utilizan residuos de vertederos, 36 están asociadas a estaciones de depuración de aguas residuales, 13 utilizan residuos del sector agropecuario, siete están conectadas al sector del papel y el resto a la industria química, alimentaria, entre otras. Sin embargo, sólo una de ellas realiza el *upgrading* del biogás para obtener biometano e inyectarlo a la red de gas natural. El resto de las plantas utilizan el biogás para autoabastecimiento o producción de energía eléctrica a través de un motor de combustión interna para su posterior inyección.

Comparado con el avance del biogás en Europa y considerando que, de las 19.000 instalaciones, 725 inyectan el biometano a la red gasista, en España todavía queda mucho por mejorar para impulsar este sector. Además, se cuenta con un gran potencial debido a la presencia de industrias de gran tamaño en el sector agropecuario, alimenticio y gestión de residuos, para proveer la materia prima necesaria y activar el mercado.

En línea con los objetivos medioambientales, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha creado la Hoja de Ruta del Biogás con objetivos de multiplicar por 3.8 la producción de este gas. Esto implica que para el 2030 la producción de biogás deberá ser mínimamente de 10,41 TWh anuales, representando así el 28 % de la producción de energías renovables. Esto permitirá evitar las emisiones de 2,1 MTn de CO₂eq anuales a la atmósfera.

Esta Hoja de Ruta busca impulsar la generación de biogás para la producción de electricidad y calor útil, en especial para la industria, como también para la producción de biometano para inyectarlo a la red y reemplazar el gas natural de origen fósil.

Además de sustituir combustibles con impacto ambiental, como es el gas natural, la producción de biogás a partir de residuos refuerza la economía circular y

en el caso de utilizar residuos provenientes del sector agrícola, ayuda al crecimiento económico de la población rural.

El consumo de gas natural en España aumentó más de un 5% en el 2021 respecto al año anterior, resultando en un consumo total de 378,4 TWh. Es por eso que se busca aumentar la proporción de biometano en el sistema gasista y así disminuir las emisiones asociadas a su consumo. Para poder inyectar el biometano a la red se debe cumplir con ciertos requisitos en cuanto a la composición del gas, estipulados en el BOE-A-2013-185, que se muestran a continuación.

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Metano (CH ₄)	mol %	95	
CO	mol %	-	2
H ₂	mol %	-	5
CO ₂	mol %	-	2
O ₂	mol %	-	0.3
H ₂ O (Punto de rocío)	°C a 70 bar (a)	-	-8
Índice de Wobbe	kWh/m ³	13.403	16.058
PCS	kWh/m ³	1026	13.26

Tabla 1. Composición del gas a inyectar en la red gasista

Dentro del sistema gasista se encuentran instalaciones de transporte y distribución. Dentro de las instalaciones de transporte, se encuentran gasoductos primarios que tienen una presión mínima de diseño de 60 bar y gasoductos secundarios que operan a una presión mínima de 16 y máxima de 60 bar. Por otro lado, los gasoductos de distribución se encuentran a una presión inferior a 16 bar. En muchos casos, se busca que la planta de biogás con posterior producción de biometano se encuentre cerca de gasoductos para simplificar la inyección a la red.

2. PROPUESTA

España es el principal productor mundial de aceite de oliva. Por ello, existe un exceso de alperujo el cual se plantea tratar. Se prevé instalar una planta de biometanización de 50.000 tn/año para tratar este residuo, revalorizándolo energéticamente. Está previsto construir la planta en dos fases. Tras la primera fase la planta será capaz de tratar hasta 25 KTn/año, permitiendo poder ampliarse hasta 50 KTn/año a partir de la segunda fase. Está previsto desarrollar tal proceso en el término municipal de Mérida, en la planta La Serena.

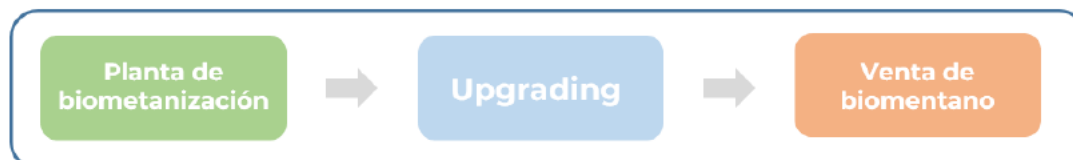


Diagrama 1: Propuesta de producción de biometano.

Se ha evaluado la conexión a la red eléctrica para hacer frente al consumo de la planta. Esta energía alimentará la planta de biometanización, donde está previsto generar $1000 \text{ Nm}^3/\text{h}$ de biogás en la primera fase, duplicándose esta cantidad tras su ampliación en la segunda fase.

Por otro lado, para satisfacer la demanda térmica de la planta de biometanización se ha previsto instalar una caldera de biomasa, la cual se alimentará a partir de huesos de aceitunas.

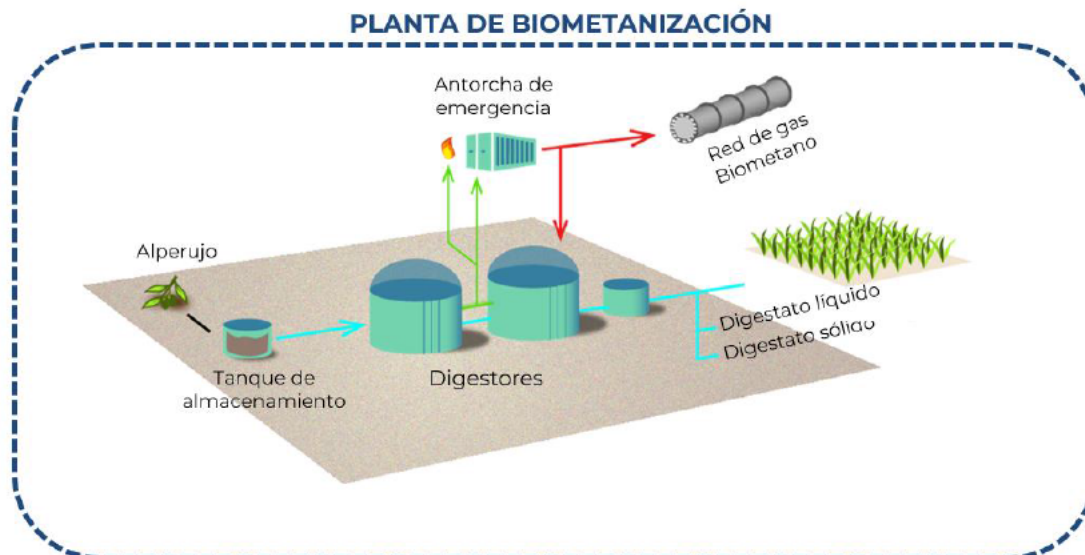


Diagrama 2: Esquema de la propuesta.

3. PLANTA DE BIOMETANIZACIÓN

3.1 Introducción

La biometanización es un proceso de digestión anaerobia, cuyo objetivo es transformar la fracción orgánica proveniente de los residuos de la producción de aceite de oliva en dos productos: por un lado, **biogás**, compuesto por metano y dióxido de carbono y por otro lado, **digestato**, que es la materia orgánica resultante que se utilizará como fertilizante.

Esta tecnología utiliza reactores (digestores) cerrados donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica, un proceso muy conocido ya que también se produce de un modo natural y espontáneo en diversos ámbitos, como por ejemplo en pantanos, en yacimientos subterráneos o incluso en el estómago de animales.

El proceso para la producción de biometano comprende distintas etapas que tienen lugar en una planta de digestión anaerobia: pretratamiento y depósito para la alimentación; digestor donde tiene lugar el proceso biológico; gasómetro para recoger el biogás producido y otro depósito para el digerido (efluente) y finalmente el *upgrading*, donde se obtiene por un lado el biometano y por otro el CO₂.

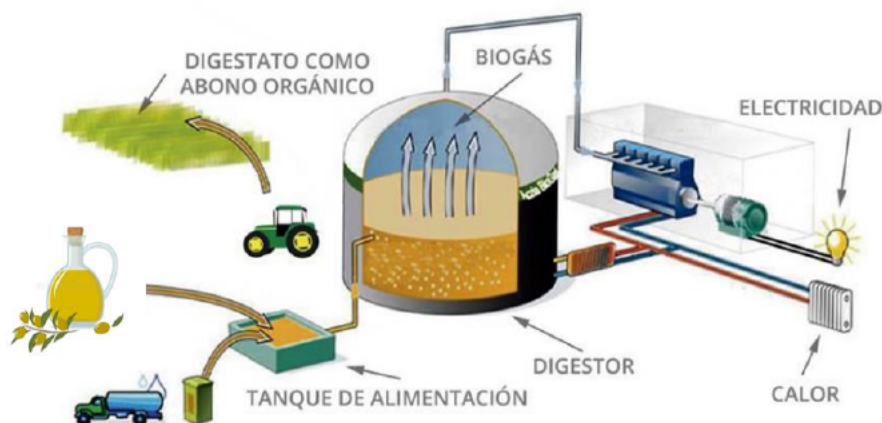


Diagrama 3: Planta de biometanización.

3.2 Ubicación

La planta de biometanización está prevista desarrollarse en la provincia de Badajoz, concretamente en el término municipal de Mérida.

La planta de biometanización se ubicará en la parcela 156 del polígono 38 y ocupará una superficie aproximada de 40.000 m². La distribución de la misma viene detallada en el Anexo: Planos



Ilustración 3. Ubicación de la planta de biometanización.

3.3 Descripción de los aspectos principales del proceso

3.3.1 Qué es el alperujo

El alperujo es un subproducto obtenido de las almazaras durante la extracción de aceite de oliva. Cuando a la aceituna se le extrae todo el aceite, quedará en forma de pasta. Dicha pasta estará formada por el resto de lo que es la pulpa y el hueso, siendo una mezcla de aguas de vegetación o alpechines; partes sólidas de la aceituna, como el hueso, el mesocarpio y la piel; y restos grasos. Por lo tanto, el alperujo se define como todo aquello que resta de la aceituna si eliminamos el aceite de oliva.



Ilustración 4: Aceitunas antes de la extracción de aceite.

3.3.2 Proceso principal: Biometanización

Es un proceso en el que microorganismos descomponen mediante una digestión anaerobia la materia orgánica logrando transformarla en biogás y un residuo sólido estabilizado. La biometanización tiene distintas aplicaciones que van desde la producción de electricidad hasta la producción de metano para ser utilizado como gas natural.

Un grupo de bacterias hidrolíticas y fermentativas producen compuestos orgánicos más simples (por ejemplo, azúcares, alcoholes, ácidos grasos, hidrógeno y dióxido de carbono). Las bacterias acetogénicas actúan sobre estos productos para producir metano y dióxido de carbono. La biometanización ocurre a partir de residuos de la ganadería (purines, estiércol y restos de piensos), de la agricultura y producción de alimentos (restos de frutas y verduras, restos de procesamiento de carne, pescado y leche, restos de cerveza, restos de comida), aguas residuales de depuradoras agroindustriales y municipales, y de la fracción orgánica del Residuo Sólido Urbano. Es una excelente solución para la eliminación de residuos orgánicos.

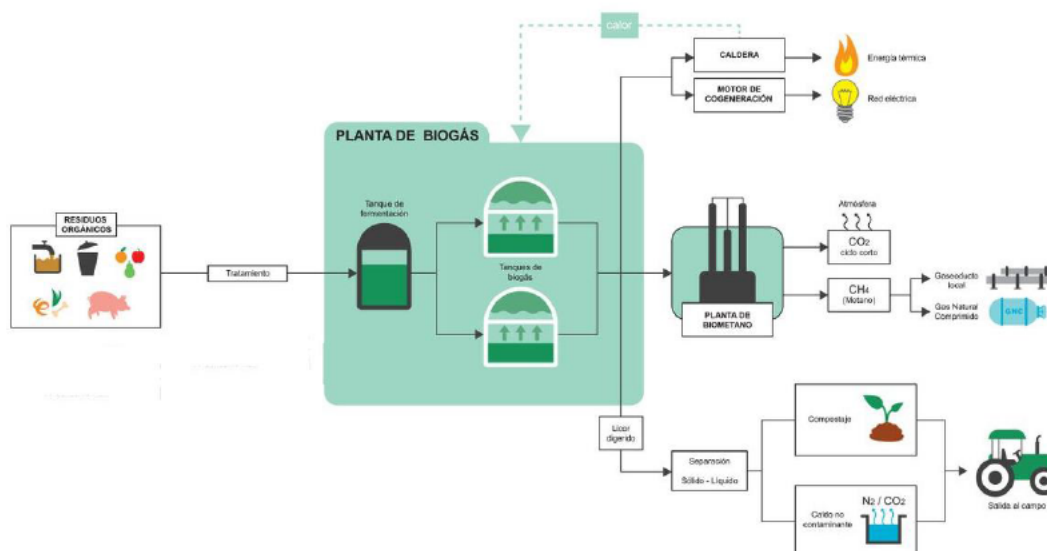


Diagrama 4: Proceso en el interior de una planta de biometanización.

3.3.3 Biogás

El biogás es un combustible gaseoso natural, que se transforma en electricidad y energía térmica a través de plantas de cogeneración, o en biometano en plantas de mejoramiento del biogás que se utiliza directamente para reemplazar el metano fósil.

Dependiendo de la materia prima utilizada para la generación de biogás, su composición puede variar, encontrándose típicamente entre un 50% y un 70% de metano (CH_4), mientras que el resto está compuesto por dióxido de carbono (CO_2), aproximadamente un 0,1% de ácido sulfhídrico (H_2S) y trazas de otros gases.

3.3.4 Biometano

El biometano es un gas natural y renovable derivado del proceso de mejora del biogás. Está compuesto principalmente por metano (CH_4) y puede ser utilizado como alimentación a la red existente, en sustitución del gas natural, así como en vehículos como combustible.

Contribuye a promover la economía local y circular; difundir la movilidad sostenible para el sector del transporte y apoyar el medio ambiente mediante la reducción de emisiones; lograr la independencia energética del país mediante el uso de fuentes de energía renovables.

3.3.5 Digestato

Un subproducto importante generando durante el proceso es el digestato (o “lodo digerido”), material líquido o sólido que queda al terminar el proceso. Contiene nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y otros elementos. Se emplea como fertilizante o mejorador del suelo.

3.4 Elementos que componen la planta

3.4.1 Balsa de almacenamiento de alperujo

El alperujo antes de ser tratado se encuentra almacenado en una balsa de la cual, a través de tuberías, es extraído e inyectado en la planta de biometanización. La balsa contará con un volumen de 25.000m^3 capaz de almacenar el alperujo necesario para alimentar la planta. En la segunda fase, se construirá una segunda balsa idéntica.

3.4.2 Sistema de alimentación

El sistema de alimentación se encarga de suministrar la dosis requerida de biomasa a una bomba que alimenta el digestor. Este alimentador sirve como tanque de recepción de sustancias sólidas las cuales se irán alimentando posteriormente. El operador de la planta debe llenar el alimentador para garantizar un funcionamiento continuo de la planta de biogás. Además, el alimentador está equipado con unos trituradores que se encargaran de desmenuzar la biomasa introducida.

3.4.3 Pre-tanque

El alperujo se envía a un pre-tanque construido en hormigón armado con un revestimiento interno para protegerlo del biogás. En este punto se realizará un

pretratamiento biológico para reducir la concentración de polifenoles que podrían inhibir el proceso de digestión.

Datos técnicos:

- Diámetro: 10 m.
- Altura: 6 metros.
- Altura de llenado: [REDACTED]
- Volumen: [REDACTED]
- Volumen útil [REDACTED]

3.4.4 Fermentadores

El digestor está construido en hormigón armado monolítico colado in situ, con una losa de cimentación de hormigón armado. Tiene un sistema de tanques concéntricos, donde el tanque central sirve como digestor secundario, y el anillo exterior como digestor primario. La cubierta del tanque anular es de hormigón, mientras que la del tanque central es de doble lámina de membrana. Para reducir el impacto visual y favorecer la integración de la estructura en los elementos paisajísticos circundantes, la parte no enterrada de los tanques está cubierta de chapa trapezoidal verde.

Las características del digestor se indican en la tabla siguiente:

ESPECIFICACIONES DIGESTOR TRITÓN		
	Unit	Value
Nº de tanques	#	1
Nº de mezcladores por tanque	#	[REDACTED]
Construcción tanque		Hormigón
Tipo de cubierta anillo exterior		Hormigón
Tipo cubierta anillo interior		Membrana doble capa
Diámetro interio	m	[REDACTED]
Diámetro externo	m	36
Altura sin techo	m	7
Espacio libre	m	[REDACTED]
Volumen de tanque	m³	[REDACTED]
Volumen operativo de tanque	m³	[REDACTED]

Tanto la membrana interna como la externa están hechas de poliéster de alta tenacidad pintado ultraresistente a los rayos UV, con tratamiento antimoho, con baja inflamabilidad según DIN 4102B1, con tratamiento especial de ablandamiento.

En cuanto al sistema de calefacción del tanque, se utilizan tuberías que se instalan en su interior. El número de circuitos de calefacción depende del tamaño del tanque y del volumen del líquido que necesita ser calentado. El ajuste preciso de la temperatura es esencial para evitar la formación de incrustaciones en la superficie externa de los tubos y garantizar una óptima transferencia de calor.

3.4.5 Digestor terciario

Tras el tiempo de permanencia en el digestor anular, el sustrato degradado se bombea automáticamente al digestor terciarios que está conectado a la tubería del sistema de biogás y equipado con dos anillos de calentamiento, para aumentar aún más la producción de biogás.

La siguiente tabla muestra las dimensiones y el equipamiento del digestor terciario:

ESPECIFICACIONES DIGESTOR TERCIARIO		
	Unit	Value
Nº de tanques	#	1
Nº de mezcladores por tanque	#	■
Construcción tanque		Hormigón
Tipo cubierta		Membrana doble capa
Diámetro	m	24,0
Ángulo de suelo		■
Altura total	m	7,0
Altura libre	m	■
Volumen de tanque	m³	■

3.4.6 Procesos de fermentación en tanques

Al depositar los residuos orgánicos en el interior del digestor, se da inicio al proceso de digestión anaerobia controlada o biometanización. Este proceso implica la transformación de la biomasa en ausencia de oxígeno, lo cual resulta en la generación de varios compuestos volátiles, entre ellos el metano (CH_4), el dióxido de carbono (CO_2), el amoníaco (NH_3), el sulfuro de hidrógeno (H_2S), el nitrógeno (N_2) y otros gases menores.

En la primera fase de la biometanización, la materia orgánica se encuentra en un medio acuoso con temperaturas que oscilan entre los 25 y 35 °C. Durante esta etapa, los microorganismos aeróbicos degradan la materia orgánica y consumen el oxígeno presente en el medio.

Posteriormente, al agotarse el oxígeno en el medio, se crean las condiciones propicias para el desarrollo de microorganismos anaerobios, quienes continúan el proceso de degradación de la materia orgánica.

La segunda fase de la biometanización puede comenzar aproximadamente cinco días después de la incorporación de los residuos en el digestor y puede tomar hasta 20 días para completarse. Durante este periodo, la presión del biogás generado se controla mediante una válvula, y el biogás se extrae a través de un tubo de plástico o cobre.

3.4.7 Módulo técnico

El módulo técnico es un contenedor estándar, compacto y aislado que sirve como centro técnico para la planta de biogás. El módulo está equipado con medición de gas, sopladores de desulfuración, distribución de calefacción y bombas sistema de aire acondicionado, sistema de distribución de agua corriente y la opción de un intercambiador de calor. El equipo de control se ubica en una segunda habitación separada.

Datos técnicos:

- Longitud del contenedor: 12 m.
- Contenedor prefabricado, barnizado, aislado.
- 2 aperturas de ventilación.
- 2 ventiladores.
- 2 puertas.
- Aire acondicionado.



Ilustración 5: Módulo técnico.

3.4.8 Separador de tornillo

El digestato sale de los digestores pasando por un separador de tornillo de compresión helicoidal para extraer impurezas como plásticos, metales ligeros, etc. con dimensiones mayores a 1,5/2 mm. Es este equipo es en el que se hace la separación de las partes sólida y líquida del digestato.

3.4.9 Antorcha de emergencia

La planta de biometanización cuenta con una antorcha de seguridad para así dar garantías de las medidas de seguridad.

La antorcha de seguridad se pondrá en funcionamiento en cualquiera de las eventualidades que se enlistan a continuación:

- Grandes fluctuaciones en la generación de biogás.
- Fallo en algún equipo.
- Cualquier situación de emergencia.

Se espera utilizar la antorcha de seguridad el menor tiempo posible que permita el apagado seguro del sistema o se estabilice la producción, pero nunca de manera continua.

Esta antorcha asegura emisiones limpias, gracias a su temperatura de operación, por lo cual se adapta a las regulaciones locales, dando seguridad a la planta.

Cuando se hace uso de la antorcha de emergencia se realiza una desulfuración de biogás con un scrubber contracorriente y un recipiente de recuperación de sosa.

La planta se compone de una torre y un recipiente separado, el biogás fluye desde la parte inferior de la columna y se limpia con líquido que se alimenta desde la parte superior de la torre. Después de que el líquido haya pasado a través del lecho de contacto del scrubber, llega al recipiente de oxidación a través de una tubería de conexión, en este tanque el líquido sufre una oxidación a través del aire soplado desde el fondo por un soplador. Desde el tanque de oxidación, el líquido se bombea de vuelta al scrubber a través de una bomba de recirculación que extrae del fondo del tanque y lo envía a la parte superior del lecho del scrubber.

3.4.10 Mejora del biogás (Upgrading)

Es el procedimiento mediante el cual se filtra el biogás para obtener el biometano. Hoy en día, existen varias tecnologías en el mercado para el upgrading, las principales operaciones son absorción, adsorción, separación criogénica y separación por membrana.

Las separaciones de membrana son particularmente atractivas para la mejora de biogás debido a su menor consumo de energía, buena selectividad, módulos de fácil ingeniería y, por lo tanto, costos más bajos. Se puede alcanzar una alta eficiencia de recuperación de CH_4 (>96%). Por tal motivo es la tecnología seleccionada para este proyecto.

Los sistemas están equipados con un sistema de membrana de 3 etapas. Las membranas altamente eficientes para la separación del metano del biogás aseguran una eficiencia de más del 99,5%. En un sistema de purificación por membrana, el biogás entra primero en el sistema de pretratamiento donde se filtran la humedad y los contaminantes, como H_2S . Después de eso, el gas se comprime para alcanzar la presión requerida antes de ingresar al sistema de membrana.

Los gases restantes después del pretratamiento incluyen CH_4 y CO_2 . La mezcla de gas comprimido fluye a través del sistema de membrana de 3 etapas donde se separan el CO_2 y el CH_4 . Esta disposición de membrana de 3 pasos asegura una alta calidad de biometano (de acuerdo con las especificaciones) con una recuperación máxima de CH_4 del 99,5% y superior. En el sistema de postratamiento, el biometano producido se analiza y se comprueba si se cumplen todas las especificaciones.

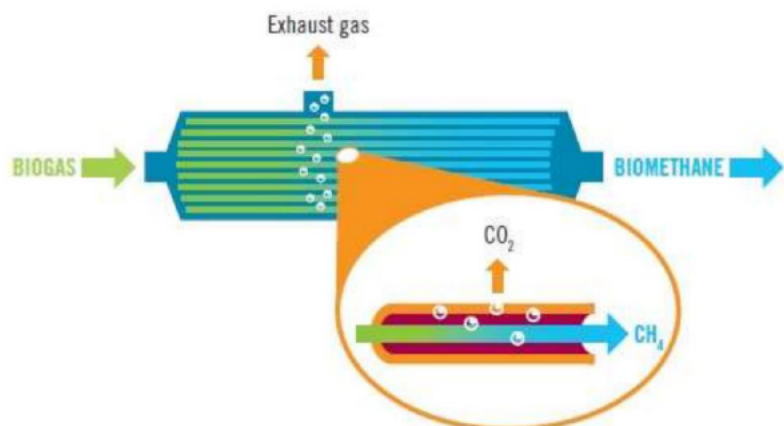


Ilustración 6: Proceso de separación de membranas.

Después de este paso, el biometano ya cumple con los requerimientos de pureza de la red de gas natural y se inyecta a la presión establecida, según se trate de un gasoducto de transporte o distribución.

3.5 La planta

La planta de biometanización la cual es capaz de tratar 50.000 Tn/año de alperujo está compuesta por:

- 2 balsa de alperujo de 25.000 m³ cada una.
- 1 pre-tanque.
- 1 digestores tritón (primario/secundario).
- 1 digestor terciario.
- 1 contenedor de digestato sólido.
- 1 balsa de digestato líquido de 20.000 m³.
- 1 módulo técnico.
- 1 antorcha de seguridad.
- 1 caldera de biomasa.
- 1 pozo de condensación.

3.6 Producción e inyección de biometano

La planta de biometanización van a ser alimentada con 50.000 ton/año de alperujo, que será suministrado desde almazaras de la zona donde está situada dicha planta y que tras el proceso de fermentación y de digestión anaerobia se prevé que se generarán ████ Nm³/h de biogás. Tras el upgrading, resultará en ████ Nm³/h de biometano, con un total de ████ GWh/año de generación.

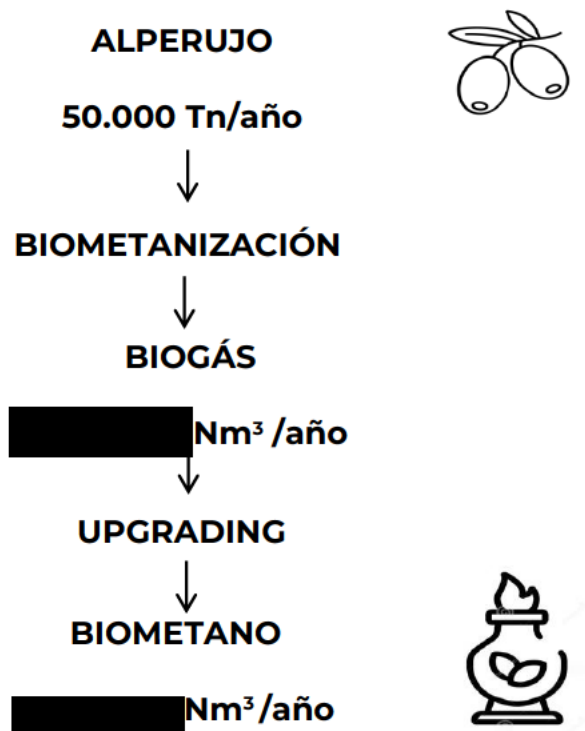


Diagrama 5. Línea de producción biometano.

El biometano producido se inyectará a la red de gas natural de España a través de la posición O24 de la red de transporte de Enagás Almendralejo-Salamanca próxima a la parcela donde se ubicará la planta, como se puede apreciar en la ilustración 8.



Ilustración 7. Imagen satelital de la red de gas y planta de biogás.

Además del biometano, se obtiene el digestato, en el cual se separa la parte sólida de la líquida. En este caso, el digestato líquido se almacenará en balsas de regadío, permitiendo su reutilización como fertilizante líquido y contando con una cantidad de [REDACTED] tn/día. Por otro lado, del digestato sólido almacenado en un contenedor se generan [REDACTED] tn/día.

3.7 Consumos

Tras conocer los elementos que conforman la planta de biometanización y su proceso, se detalla el consumo eléctrico y térmico que estos necesitan para poder llevar a cabo su función.

3.7.1 Eléctrico

Para suplir la energía eléctrica la planta se encuentra conectada a la red eléctrica. De esta manera, se garantiza el abastecimiento completo que hace falta para el correcto funcionamiento de la planta.

	kWh/año
Consumo anual de energía eléctrica	3.125.000,00

Tabla 2: Consumos eléctricos de la planta de biometanización.

3.7.2 Térmico

Para suplir la energía térmica que requiere el proceso, se ha previsto instalar una caldera de biomasa, la cual se alimentará a partir de huesos de aceitunas.

Las calderas de biomasa son aquellas que utilizan como fuente de energía combustibles naturales, como huesos de aceituna, residuos forestales, cáscaras de frutos secos, etc. Gracias a esto, se las considera las más ecológicas del mercado, ya que se pueden utilizar tanto para generar calefacción a través de radiadores, aire o suelo, como para generar agua caliente.

Entre las numerosas ventajas que presentan las calderas de biomasa, se puede encontrar las siguientes:

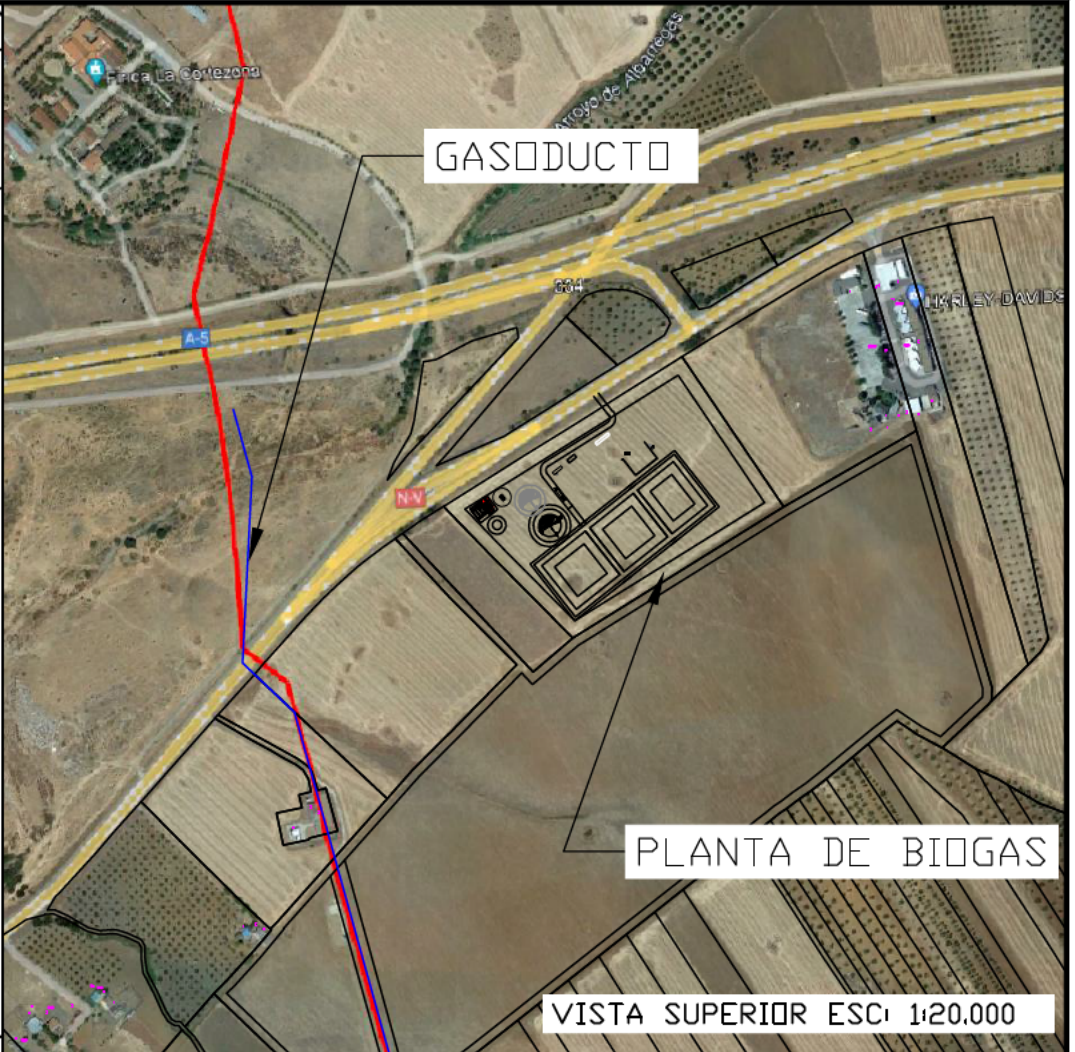
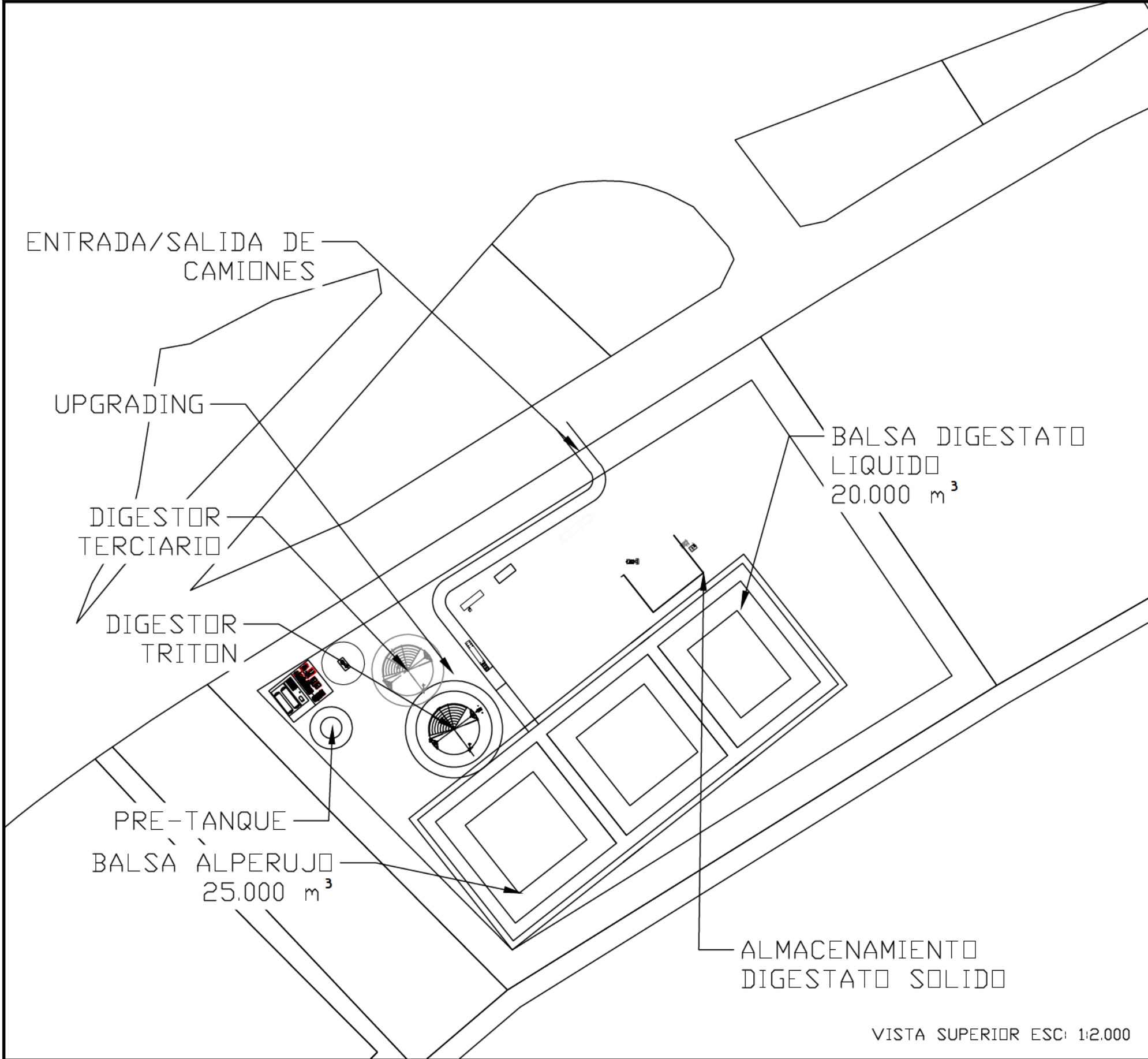
- La instalación es muy sencilla, sea cual sea el combustible que se utilice.
- Disminuye la dependencia de los combustibles fósiles, que son la principal fuente de energía no renovable
- El precio de la biomasa es más estable que el de los combustibles fósiles. Es el combustible más competitivo para el usuario, ya que aporta rentabilidad y confort económico
- Su eficiencia energética es superior a la de las calderas tradicionales, lo que va a suponer un ahorro para tu empresa.
- Es una energía limpia e inagotable: emite CO₂ neutro y, además, su extracción ayuda a la limpieza de los montes, previniendo los incendios forestales.
- Supone una fuente de empleo en el ámbito rural

	KWh/año
Consumo anual de energía térmica	2.001.858,00

Tabla 3: Consumos térmicos de la planta de biometanización.

4. ANEXOS

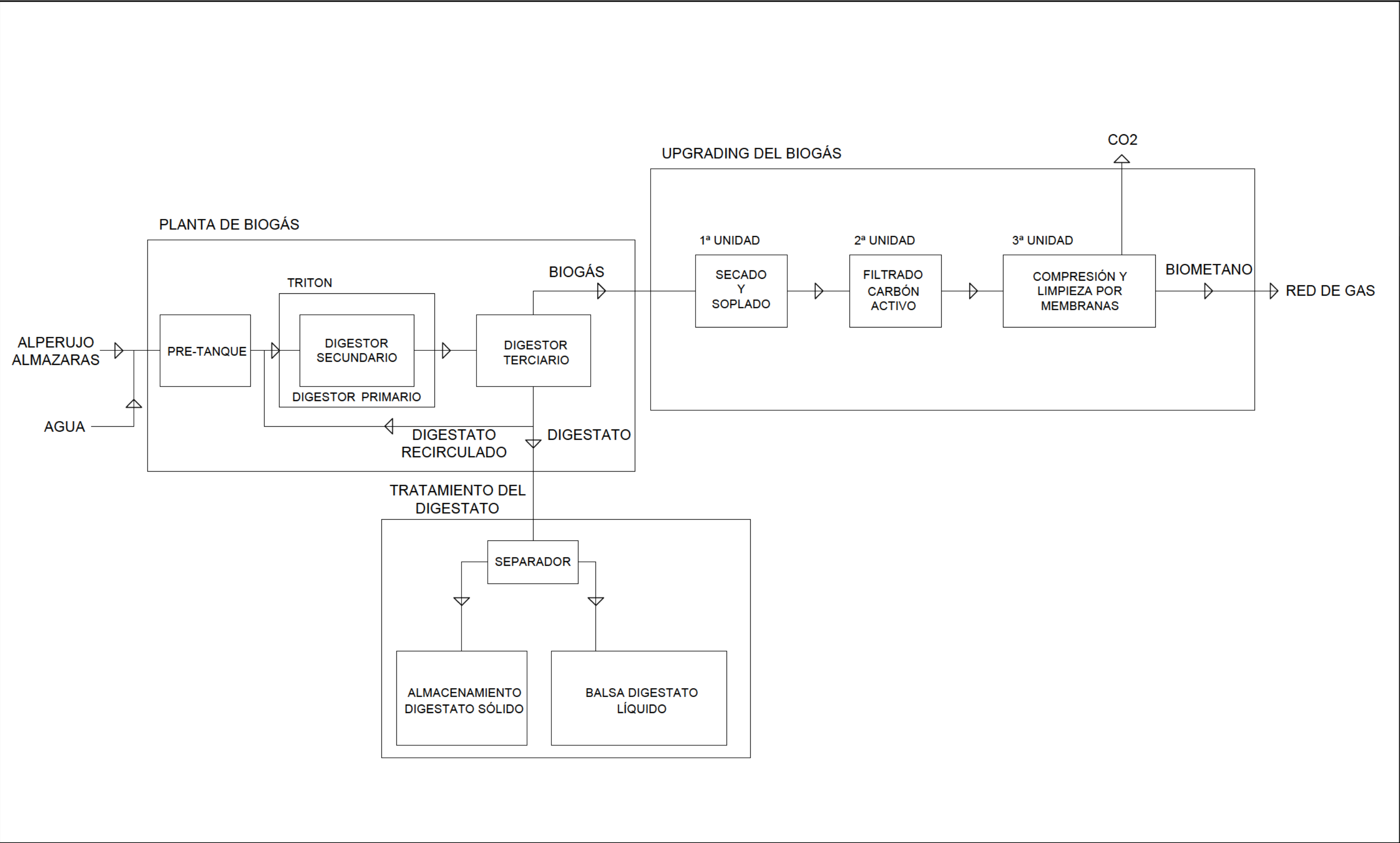
4.1 Layout



Leyenda	
	Limites parcela
	Servidumbre
	Gasoducto

	27-10-23	Creación del plano	L.F.			DIBUJADO: LUIS FORNÓS	REVISADO POR: ROGER HOMEN		DIRECCIÓN DE INGENIERÍA Y PROYECTOS	
						INGENIERO: LUIS FORNÓS	FIRMA:		FECHA:	GERENCIA: INGENIERIA
						LIDER DE DISCIPLINA:	FIRMA:		FECHA EMISION:	
						ING. DE PROYECTO:	FIRMA:		FECHA APROBACION:	
					N° PLANO CONTRATISTA:	GTE. DE PROYECTO: GUILLERMO MORENO	FIRMA:	FECHA APROBACION:	PLANTA/PROYECTO: PLANTA DE BIOMETANO LA SERENA – MERIDA	TITULO: LAYOUT PRELIMINAR
					N° PROYECTO CONTRATISTA:	CLIENTE:	FIRMA:	FECHA APROBACION:	ESCALA:	PLANO N°:
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DIB.	POR						REVISION: A

4.2 Diagrama de bloques



A	03-05-2023	Creación del plano	F.G.			DIBUJADO: FERNANDO GONZALEZ	REVISADO POR: ROGER HOMEN		AVENTUM	DIRECCIÓN DE INGENIERÍA Y PROYECTOS	
B	12-07-2023	Modificación del plano	F.G.			INGENIERO: FERNANDO GONZALEZ	FIRMA:	FECHA:		GERENCIA: INGENIERIA	
						LIDER DE DISCIPLINA:	FIRMA:	FECHA EMISION:	PLANTA/PROYECTO: PLANTA DE BIOMETANO LA SERENA		
						ING. DE PROYECTO:	FIRMA:	FECHA APROBACION:	TITULO: DIAGRAMA DE BLOQUES PLANTA DE BIOMETANIZACION		
						N° PLANO CONTRATISTA:	GTE. DE PROYECTO: GUILLERMO MORENO	FIRMA:	FECHA APROBACION:		
REV.	FECHA	DESCRIPCION	D.B.	POR	N° PROYECTO CONTRATISTA:	CLIENTE:	FIRMA:	FECHA APROBACION:	ESCALA: S/E	PLANO N°: DIAG-01-00	REVISION: A