



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES.

TRABAJO FIN DE GRADO

Diseño técnico/económico y planificación de una planta de biogás de 0,5MW.

Autor: Gabriela de Andrés Martín

Director: Jaime Navarro Ocón

Madrid

DISEÑO TÉCNICO/ECONÓMICO E INSTALACIÓN DE UNA PLANTA DE BIOGÁS

Autor: de Andrés Martín, Gabriela

Director: Navarro Ocón, Jaime

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo principal de este proyecto es reducir la cantidad de residuos generados y minimizar su impacto ambiental. Para lograrlo, se instalará una planta de biogás de 500 kW en el término municipal de Nules (Castellón de la Plana). Además, el proyecto busca utilizar dos subproductos útiles: energía eléctrica, que será inyectada en la red a través de la subestación eléctrica de Moncofar, y el digestato, un material no degradado que se empleará como fertilizante para abonar los campos.

Palabras clave: Biogás, Digestato, Red Eléctrica, Materia prima.

1. Introducción

La gestión ineficiente de residuos agrícolas y ganaderos plantea graves problemas ambientales. Según datos recientes, en España se produjeron más de 6 millones de toneladas de residuos agrícolas en 2020, y esta cifra aumentó dramáticamente a 116 millones de toneladas en 2021 [1]. La acumulación de estos residuos en vertederos contribuye significativamente a la contaminación del suelo y del agua, además de emitir gases de efecto invernadero como el metano. Este ciclo de generación de residuos no solo se repite en cada hogar, sino que se multiplica a nivel global, exacerbando el cambio climático y subrayando la urgencia de encontrar soluciones sostenibles y eficientes.

Simultáneamente, la dependencia de fuentes de energía no renovables como el petróleo y el gas natural tiene impactos negativos significativos sobre el medio ambiente. La creciente demanda energética mundial ha generado una preocupación considerable sobre la capacidad de satisfacer esta necesidad de manera sostenible. Para mitigar estos efectos, es imperativo reducir nuestra dependencia de estas fuentes y explorar alternativas más sostenibles.

Una de estas alternativas es el biogás, una fuente de energía renovable producida a través de la digestión anaeróbica de materia orgánica, como residuos urbanos y lodos de estaciones depuradoras. Este proceso no solo reduce la cantidad de residuos en vertederos, sino que también genera energía y produce digestato, un subproducto útil como fertilizante, cerrando el ciclo de una economía circular.

La economía circular se presenta como un modelo viable para abordar estos desafíos, transformando los residuos en recursos valiosos y reduciendo la dependencia de combustibles fósiles. La implementación de plantas de biogás no solo contribuye a la producción de energía limpia, sino que también promueve la gestión sostenible de residuos, demostrando que es posible equilibrar el desarrollo económico con la preservación del medio ambiente.

2. Diseño técnico

El diseño de la planta de biogás de 500 kW, situada en un terreno de 9.258 m² en el término municipal de Nules, se basa en la digestión anaeróbica de cuatro tipos de sustratos: purín de cerdo, lodos de EDARI de empresas cítricas, lodos de EDARI de empresas cárnicas y alperujo. La elección de estos sustratos responde a su disponibilidad en la zona y a su complementariedad en el proceso de digestión, lo que permite una producción constante y eficiente de biogás. El diseño incluye tanto instalaciones de prealmacenaje para la materia prima sólida y líquida, como un digestor que opera en un rango de temperatura mesofílico, asegurando la estabilidad del proceso.

El proceso de digestión anaeróbica se lleva a cabo en un digestor donde los materiales orgánicos se descomponen en ausencia de oxígeno, produciendo biogás y digestato. El biogás generado, compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono, se utiliza para alimentar un motor de combustión interna que produce electricidad. Debido a que el punto de conexión a la ST MONCOFAR requiere de una tensión de 20kV, la electricidad se incrementa en tensión en un Centro de Transformación con relación 400V / 20kV antes de ser inyectada en la red eléctrica. El calor residual del motor se aprovecha para mantener la temperatura del digestor, optimizando la eficiencia del proceso.

El digestato resultante, tanto en su forma sólida como líquida, se utiliza como fertilizante para abonar los campos. El digestato líquido se almacena en depósitos de hormigón, mientras que el digestato sólido se coloca sobre una solera de hormigón, ambos a la espera de ser recogidos por camiones y transportados a los campos que necesiten ser abonados.

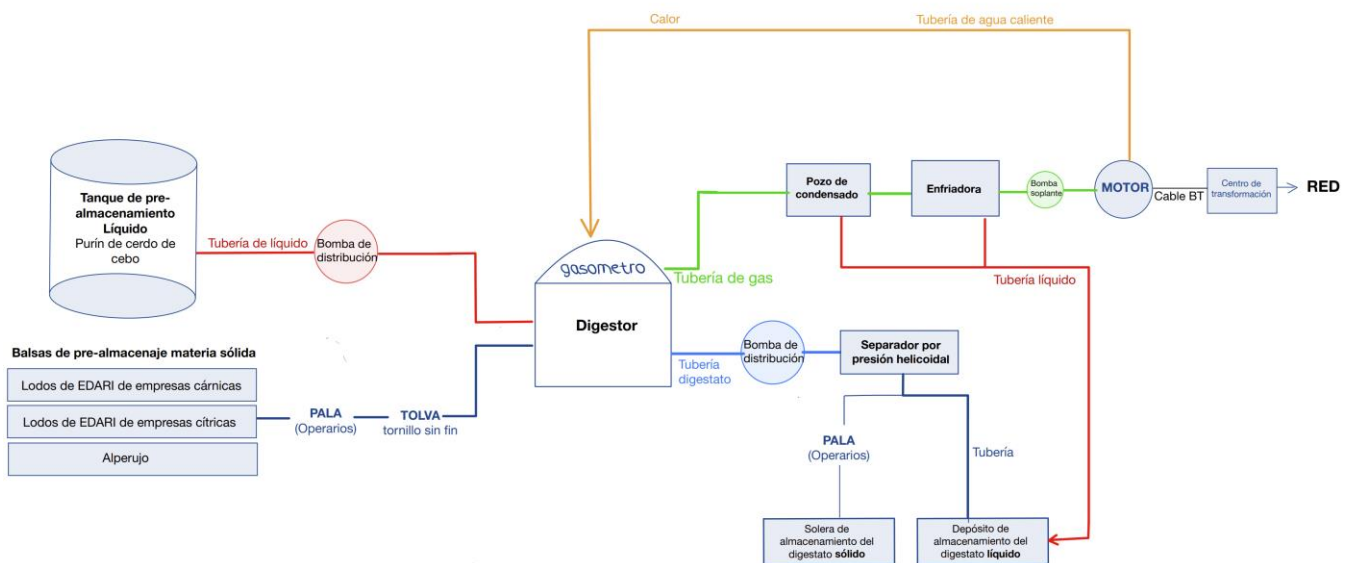


Ilustración 1: Diagrama de fases de la planta de biogás (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

3. Diseño económico

El presupuesto total para llevar a cabo este proyecto es de 1.596.346,53 €, incluyendo equipos, terreno, mano de obra y trámites administrativos, entre otros. Aproximadamente el 20% de esta cantidad será aportado mediante capital propio por los accionistas, mientras que el resto será financiado externamente a través de un préstamo bancario. Tras realizar el análisis económico, se han calculado varios indicadores financieros para determinar la rentabilidad del proyecto. Destaca que el Valor Actual Neto (VAN) es de 1.418.021,63 €, evaluado con una tasa de descuento (K_e) del 11,23%, y el periodo de recuperación descontado (payback descontado) se alcanza en el noveno año de la vida útil de la planta.

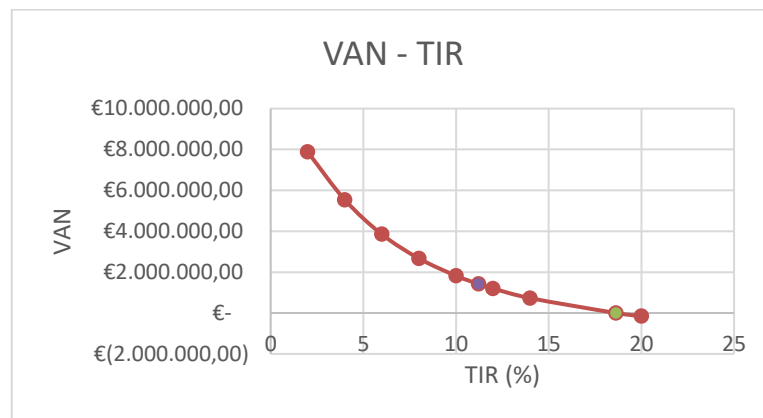


Ilustración 2: Gráfico VAN-TIR (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

4. Referencias

- [1] "Generación y tratamiento de residuos en España", epdata, 2021. <https://www.epdata.es/datos/generacion-residuos-tratamiento-espana-graficos-datos-ine/483>.
- [2] "Hoja de Ruta del Biogás", Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/es-es/Novidades/Documents/00HR_Biogas_V6.pdf.

TECHNICAL/ECONOMIC DESIGN AND INSTALLATION OF A BIOGAS PLANT

Author: de Andrés Martín, Gabriela.

Supervisor: Navarro Ocón, Jaime.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

The main objective of this project is to reduce the amount of waste generated and minimize its environmental impact. To achieve this, a 500 kW biogas plant will be installed in the municipal area of Nules (Castellón de la Plana). Additionally, the project aims to utilize two useful by-products: electrical energy, which will be injected into the grid through the Moncofar electrical substation, and digestate, a non-degraded material that will be used as fertilizer for the fields.

Keywords: Biogas, Digestate, Electrical Grid, Raw Material.

1. Introducción

Inefficient management of agricultural and livestock waste poses serious environmental problems. According to recent data, over 6 million tons of agricultural waste were produced in Spain in 2020, and this figure dramatically increased to 116 million tons in 2021 [1]. The accumulation of this waste in landfills significantly contributes to soil and water pollution, as well as the emission of greenhouse gases such as methane. This cycle of waste generation not only repeats in every household but also multiplies globally, exacerbating climate change and highlighting the urgency of finding sustainable and efficient solutions.

Simultaneously, dependence on non-renewable energy sources like oil and natural gas has significant negative impacts on the environment. The growing global energy demand has generated considerable concern about the ability to meet this need sustainably. To mitigate these effects, it is imperative to reduce our dependence on these sources and explore more sustainable alternatives.

One of these alternatives is biogas, a renewable energy source produced through the anaerobic digestion of organic matter, such as urban waste and sludge from treatment plants. This process not only reduces the amount of waste in landfills but also generates energy and produces digestate, a useful by-product as fertilizer, thus closing the loop of a circular economy.

The circular economy presents itself as a viable model to address these challenges, transforming waste into valuable resources and reducing dependence on fossil fuels. The implementation of biogas plants not only contributes to the production of clean energy but also promotes sustainable waste management, demonstrating that it is possible to balance economic development with environmental preservation.

2. Technical Design

The design of the 500 kW biogas plant, located on a 9,258 m² plot in the municipal area of Nules, is based on the anaerobic digestion of four types of substrates: pig slurry, wastewater sludge from citrus companies, wastewater sludge from meat companies, and olive pomace. The choice of these substrates is due to their availability in the area and their complementarity in the digestion process, allowing for constant and efficient biogas production. The design includes pre-storage facilities for both solid and liquid raw materials, as well as a digester that operates within a mesophilic temperature range, ensuring process stability.

The anaerobic digestion process takes place in a digester where organic materials decompose in the absence of oxygen, producing biogas and digestate. The generated biogas, primarily composed of methane and carbon dioxide, is used to power an internal combustion engine that produces electricity. Since the connection point to the ST MONCOFAR requires a voltage of 20kV, the electricity is stepped up in a Transformation Center with a 400V / 20kV ratio before being injected into the electrical grid. The residual heat from the engine is utilized to maintain the digester's temperature, optimizing process efficiency.

The resulting digestate, both in solid and liquid forms, is used as fertilizer for the fields. The liquid digestate is stored in concrete tanks, while the solid digestate is placed on a concrete floor, both awaiting collection by trucks and transport to the fields needing fertilization.

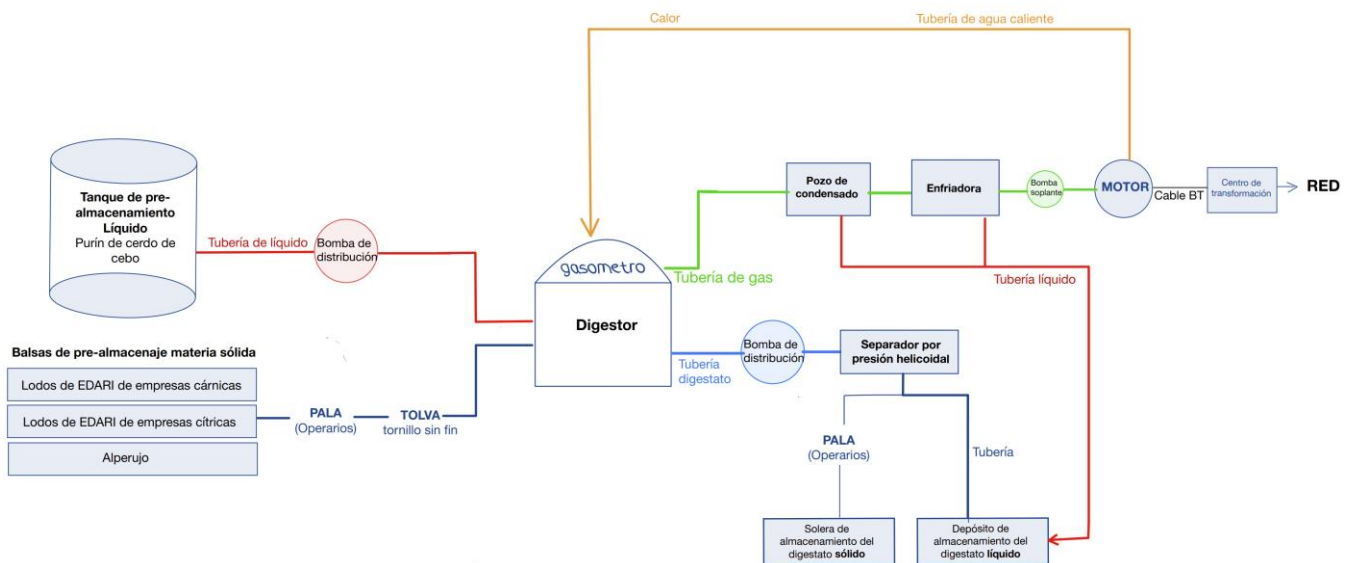


Illustration 3: Phase diagram of the biogas plant (Source: Own, Creation: Own)

3. Economical analysis

The total budget for carrying out this project is €1,596,346.53, including equipment, land, labor, and administrative procedures, among others. Approximately 20% of this amount will be provided by the shareholders through equity capital, while the rest will be externally financed through a bank loan. After conducting the economic analysis, several financial indicators have been calculated to determine the project's profitability. Notably, the Net Present Value (NPV) is €1,418,021.63, evaluated with a discount rate (K_e) of 11.23%, and the discounted payback period is reached in the ninth year of the plant's useful life.

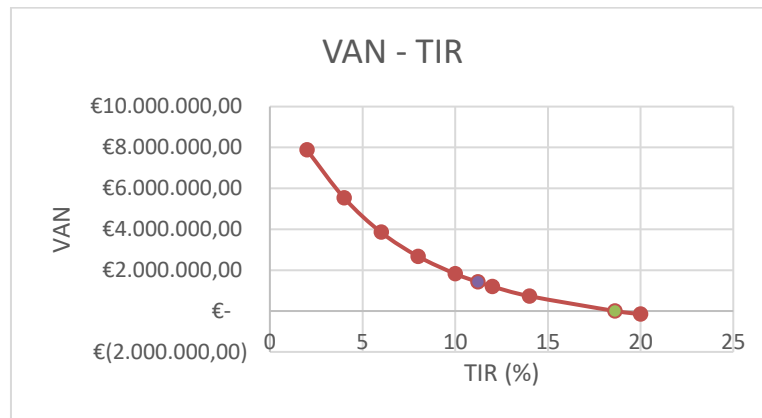


Illustration 2: Phase diagram of the biogas plant (Source: Own, Creation: Own)

4. References

- [1] "Generación y tratamiento de residuos en España", epdata, 2021. <https://www.epdata.es/datos/generacion-residuos-tratamiento-espana-graficos-datos-ine/483>.
- [2] "Hoja de Ruta del Biogás", Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2021. https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/energia/files-1/es-es/Novidades/Documents/00HR_Biogas_V6.pdf.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas esas personas que han hecho posible la realización de este Trabajo de Fin de Grado.

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, Mónica y Luis, por su amor, apoyo incondicional y comprensión a lo largo de todos estos años. Gracias por creer en mí y por estar siempre a mi lado, dándome el ánimo y la fuerza necesarios para superar cada obstáculo. Vuestras enseñanzas, consejos y valores han sido la base sobre la que he construido mi camino académico y personal. Este logro es tanto mío como vuestro, y por eso os dedico este trabajo con todo mi cariño.

A mis hermanas, Jimena y Victoria, sin ellas esta carrera no habría sido posible. Gracias por animarme en mis momentos de bajón y por hacerme entender que yo sí podía con esto. Gracias por sacarme una sonrisa en mis momentos de más nervios y por rezar por mí en cada examen de la carrera.

También quiero agradecer a mis compañeros de Erasmus, quienes hicieron de esta experiencia algo inolvidable. Gracias por vuestro apoyo constante y por ser una fuente de motivación durante todo este tiempo. En especial, quiero mencionar a Meri, Álvaro e Isa, quienes, aunque no estaban en mi destino, estuvieron siempre presentes. Gracias por aguantarme con mis idas y venidas mientras trabajaba en este proyecto. Vuestra amistad y comprensión significan mucho para mí, y sin vosotros, este viaje no habría sido el mismo.

Índice de la memoria

<i>Índice de la memoria</i>	<i>XI</i>
<i>Índice de ilustraciones</i>	<i>XIV</i>
<i>Índice de tablas</i>	<i>XV</i>
Capítulo 1. Introducción	16
1.1.1 Contexto	16
1.1.2 Estado de la cuestión.....	18
1.1.3 Motivación del proyecto	20
1.1.4 El biogás	22
1.1.4.1 Definición y Composición del biogás	22
1.1.4.2 Proceso y obtención del biogás	23
1.1.4.3 Digestión anaeróbica	23
1.1.5 Situación y emplazamiento	28
1.1.5.1 Criterio de elección y emplazamiento	28
1.1.5.2 Ubicación de la planta	28
1.1.6 Normativa y legislación de aplicación	32
Capítulo 2. Evaluación técnica	35
2.1.1 Planta de biogás	35
2.1.2 Diseño de la planta.....	35
2.1.3 Entradas de materia prima	40
2.1.4 Proceso productivo.....	43
2.1.5 Salidas del sistema	47
2.1.6 Factores que afectan el proceso	48
2.1.7 Equipos	55
2.1.8 Tanque de pre-almacenamiento líquido.....	55
2.1.9 Pre-almacenamiento de materia prima sólida	58
2.1.9.1 Balsa de pre-almacenaje para el alperujo	58
2.1.9.2 Balsa de pre-almacenaje para los lodos de EDARI de empresas cítricas	61
2.1.9.3 Balsa de pre-almacenaje para los lodos de EDARI de empresas cárnicas	64
2.1.10 Digestor.....	66
2.1.11 Digestato	70
2.1.11.1 Depósito para la fracción líquida del digestato	75
2.1.11.2 Solera para la fracción sólida del digestato	77
2.1.12 Motor	79
2.1.13 Equipos	82

2.1.14 Centro de transformación.....	82
2.1.15 Instalación eléctrica de baja tensión.....	83
2.1.16 Instalación eléctrica de media tensión	85
2.1.17 Elementos de transporte y conexión	86
2.1.18 Transporte de materia prima líquida	86
2.1.19 Transporte de biogás	86
2.1.20 Transporte de digestato	87
2.1.21 Obra civil	87
Capítulo 3. Evaluación económica	91
3.1.1 Cronograma	91
3.1.2 Presupuesto	96
3.1.3 Financiación.....	100
3.1.4 Flujos de caja	104
3.1.5 Ingresos	104
3.1.6 Gastos.....	111
3.1.7 Rentabilidad.....	114
Capítulo 4. Bibliografía	119
Capítulo 5. CONCLUSIONES	121
ANEXO I: Fichas catastrales.....	123
ANEXO II: Ficha técnica del motor.....	124
ANEXO III: Cálculo de cableado	125
ANEXO IV: Ficha técnica cable.....	128
ANEXO V: Cuadro amortización	129
ANEXO VI: Cuadros financieros	137
ANEXO VII: Certificado curso bioplat	139
ANEXO VIII: Plano planta de biogás	140
ANEXO IX: Cálculo Objetivo Producción	141
ANEXO X: Alineación objetivos de desarrollo sostenible	142

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Diagrama de fases de la planta de biogás.....	V
Ilustración 2: Evolución del número de residuos generados en España.....	21
Ilustración 3: Fases de la digestión anaeróbica. 1: bacterias fermentativas; 2:bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas	27
Ilustración 4: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de España.	29
Ilustración 5: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de la Comunidad Valenciana	29
Ilustración 6: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de la provincia de Castellón.	30
Ilustración 7: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de Nules.	30
Ilustración 8: Flujo de biogás necesario para mover un motor de 500kW	35
Ilustración 9: Flujo de materia prima en el digestor para producir el objetivo de cantidad de biogás.....	36
Ilustración 10: Proceso productivo de la planta de biogás	46
Ilustración 11: Producción de biogás en función de la temperatura.....	49
Ilustración 12: Producción de biogás por unidad de carga orgánica	52
Ilustración 13: Diagrama de árbol de la materia prima y sus componentes	71
Ilustración 14: Cantidad de digestato y biogás por parte del purín	73
Ilustración 15: Precio 'pool' según OMIP	107

Índice de tablas

Tabla 1. Previsión de evaluación de generación eléctrica bruta en GWh de las diferentes fuentes de energía en el sistema eléctrico español hasta 2023	18
Tabla 2: Características generales del biogás	22
Tabla 3: Características de la subestación STR Moncófar.	32
Tabla 4: Producción de biogás por tonelada de materia prima	37
Tabla 5: Humedad de cada materia prima	38
Tabla 6: Tabla 6. Cantidad de materia prima en Invierno	39
Tabla 7: Cantidad de materia prima Estival	39
Tabla 8: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos.	51
Tabla 9: Tiempo de retención hidráulico de cada materia prima	67
Tabla 10: Porcentajes relevantes sobre las distintas materias primas	72
Tabla 11: Cantidad de digestato total y de toneladas destinadas a la producción de biogás	74
Tabla 12: Tabla de las características principales del grupo motor generador.....	80
Tabla 13: Estimación de Energía producida en 30 años.....	82
Tabla 14: Características técnicas del Centro de Transformación	83
Tabla 15: Características del cableado a BT (CA)	84
Tabla 16. Resumen presupuesto total (Fuente: Propia, Elaboración: Propia).....	100
Tabla 17: Fuentes de financiación para la inversión	102
Tabla 18: Ingreso anual por gestión de residuos	105
Tabla 19: Estimación de Energía producida en 30 años)	106
Tabla 20. Evolución del precio “pool” eléctrico del 2026 al 2055.....	109
Tabla 21: Ingreso anual por venta de energía.....	109
Tabla 22: Ingresos anuales por venta de fertilizante	110
Tabla 23. Gastos de explotación anuales con su actualización anual.....	113
Tabla 24. Intereses pagados del préstamo durante la vida útil de la planta.....	114
Tabla 25. Cableado de BT en CA.....	125
Tabla 26. Cableado de BT en CA.....	126

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1.1 CONTEXTO

El metano, descubierto por Alessandro Volta, un físico italiano, hacia el final del siglo XVIII, se identificó inicialmente como el gas inflamable que surgía de los pantanos. Sin embargo, Volta jamás podría haber anticipado la relevancia que este gas cobraría en el futuro.

El metano adquirió una relevancia significativa durante la Segunda Guerra Mundial debido a la falta de combustibles. A principios de la década de los sesenta, la tecnología de producción de biogás se promovió considerablemente en la India, utilizando estiércol de ganado con el doble objetivo de generar energía y obtener un biofertilizante. No obstante, con la caída de los precios del petróleo a finales de los años ochenta, el entusiasmo por la tecnología de digestión anaeróbica disminuyó nuevamente.

En la actualidad, la creciente demanda energética mundial ha generado una preocupación considerable sobre la capacidad de satisfacer esta necesidad. Las principales fuentes de energía utilizadas para satisfacer esta demanda, como el petróleo, el gas natural, los combustibles fósiles y la energía nuclear, tienen efectos negativos significativos sobre el medio ambiente. Por esta razón, es imperativo reducir nuestra dependencia de estas fuentes de energía.

Para mitigar la emisión de gases de efecto invernadero, la contaminación del aire y el agotamiento de recursos, se han explorado alternativas más sostenibles. Una de estas alternativas es el biogás, una fuente de energía renovable producida a través de la digestión anaeróbica de materia orgánica, como residuos urbanos, lodos de estaciones depuradoras de

aguas residuales industriales (EDARI), purín de cerdo, paja de trigo y papel prensa. Este proceso produce biogás, que puede ser utilizado como fuente de energía, y un lodo residual orgánico estabilizado que puede emplearse como acondicionador del suelo y biofertilizante.

El biogás se considera una de las formas de energía más limpias disponibles. A diferencia de otras energías renovables, su uso no está limitado. Además de evitar la emisión de dióxido de carbono y metano, el biogás proporciona una fuente útil de energía y un biofertilizante para los cultivos. En esencia, es una fuente de energía verde que también contribuye a la limpieza ambiental.

Además de ser una fuente de energía renovable, la digestión anaeróbica para producir biogás tiene otras muchas ventajas. Entre ellas, que es un proceso de bajo coste y gran versatilidad, ayuda a mitigar el cambio climático y por ello a reducir los gases de efecto invernadero y ayuda con la reducción de residuos orgánicos donde muchas grandes empresas suelen tener problemas con la gran gestión de los residuos producidos por sus industrias.

El sector agrícola y ganadero en España, con su significativa producción de residuos orgánicos, presenta una oportunidad ideal para la instalación de plantas de biogás. Según datos recientes, el sector ganadero español produce más de 50 millones de toneladas de purines al año¹, los cuales, si no se gestionan adecuadamente, pueden causar problemas ambientales significativos. La implementación de plantas de biogás en estas industrias podría transformar la gestión de residuos y convertirlos en una fuente valiosa de energía renovable.

Además, la generación eléctrica por parte del biogás es una de las más bajas en comparación con otras fuentes de energía renovables como la solar, la eólica y la hidráulica y por ello resulta muy interesante la instalación de una planta de biogás para ayudar a satisfacer la demanda mundial, como se ha mencionado anteriormente.

¹ Gestores de Residuos. (2024). Gestión de purines y economía circular: el gran reto de la ganadería.

<i>Años</i>	<i>2019</i>	<i>2020</i>	<i>2025</i>	<i>2030</i>
Eólica (terrestre y marina)	55.647	56.444	80.128	110.900
Solar fotovoltaica	9.420	15.675	68.614	104.818
Hidráulica	24.646	30.507	31.147	31.140
Biogás	699	699	1.261	2.540
Otras	182.845	160.048	115.125	109.346
Total	273.257	263.373	296.975	358.744

Tabla 1. Previsión de evaluación de generación eléctrica bruta en GWh de las diferentes fuentes de energía en el sistema eléctrico español hasta 2023 (Fuente: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2023)

Como se muestra en la Tabla 1, la generación eléctrica bruta por parte del biogás en 2020 representaba solo el 0.27% de la generación eléctrica total del país. Sin embargo, se prevé que para 2025 esta cifra aumente al 0.43%. Estos datos indican que actualmente la contribución del biogás a la generación eléctrica es significativamente inferior en comparación con otras fuentes de energía. Esta baja proporción resalta la necesidad de investigar y desarrollar más esta tecnología, ya que el biogás tiene el potencial de convertirse en una fuente de energía renovable más prominente, ayudando a diversificar el mix energético y a mejorar la sostenibilidad medioambiental del país.

1.1.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

El diseño técnico y económico de una planta de biogás implica comprender las diferencias clave entre las plantas de biogás y las de biometano. Mientras que ambas tecnologías están relacionadas con la producción de energía a partir de residuos orgánicos, presentan diferencias significativas en sus procesos y aplicaciones finales. En este proyecto, la planta se enfocará exclusivamente en la producción de biogás, sin procesos de purificación para obtener biometano, por lo cual no se inyectará en la red gasista.

El desarrollo de plantas de biogás en España está aún en fases iniciales en comparación con otros países europeos. En 2019, se contaban solo 4 plantas de biogás por cada millón de habitantes, una de las cifras más bajas de Europa. Aunque España posee una de las mayores poblaciones de porcinos, la infraestructura de biogás ha sido limitada.

Hasta 2018, España contaba con 205 plantas de biogás, una cifra considerablemente baja comparada con países como Alemania, con más de 11.000 plantas, e Italia, con aproximadamente 1.655 instalaciones ². A pesar de este desarrollo modesto, se ha observado una tendencia al alza en los últimos años, con 43 nuevas instalaciones registradas en 2017, incluyendo nuevas construcciones y mejoras en plantas existentes.

Cabe destacar que la producción de biometano en España representa apenas entre el 1% y el 2% del consumo final bruto de energía de biogás en Europa. Esto resalta la importancia de seguir investigando y desarrollando este sector para alcanzar el potencial energético que el biogás puede ofrecer.

Las principales regiones con mayor concentración de plantas de biogás son Cataluña, Madrid y Castilla y León. En Cataluña, las instalaciones se encuentran principalmente en Barcelona y Tarragona, mientras que en Madrid destaca el Parque Tecnológico de Valdemingómez. Castilla y León albergan plantas en varias provincias como Ávila, Burgos, León, Palencia, Salamanca y Valladolid.

Entre los proyectos más destacados están las plantas de Valdemingómez y Butarque en Madrid. La planta de Valdemingómez, por ejemplo, es la más grande de España en términos de producción de biometano y su inyección a la red de gas convencional, con una capacidad de operación de 4.000 Nm³/h. Esta planta también contribuye a la producción de energía eléctrica.

² Genia Bioenergy. (2024). Las plantas de biogás en España son relativamente escasas.

Otras plantas importantes incluyen la de Vila-Sana en Lleida, que produce biometano vehicular, y la de Bens en A Coruña, que se espera proporcione energía para casi 3,000 viviendas.

1.1.3 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

La motivación detrás de este proyecto surge de una preocupación creciente por la enorme cantidad de residuos que generamos diariamente y el impacto ambiental negativo que esto conlleva. Durante el último año en San Diego, cursando asignaturas enfocadas en la sostenibilidad, he comprendido la importancia crítica de gestionar adecuadamente los residuos que producimos si no queremos enfrentarnos a una contaminación severa.

En nuestra rutina diaria, cada persona genera una cantidad considerable de basura. Por la mañana, mientras nos preparamos para el día, producimos residuos provenientes de los envases de productos de higiene personal como pasta de dientes y champú, así como el embalaje de alimentos procesados para el desayuno. A media mañana, el consumo en la oficina o en casa incluye vasos desechables, envoltorios de azúcar y restos de snacks. Durante el almuerzo, los envases de comida para llevar, las botellas de plástico o las latas de bebidas, y los restos de comida contribuyen significativamente al total de basura diaria. Por la noche, la preparación de la cena y el consumo de alimentos generan más desperdicios orgánicos y empaques.

Este ciclo de generación de residuos no solo se repite en cada hogar, sino que se multiplica por millones en todo el mundo. Datos recientes indican que una persona promedio produce aproximadamente 1,5 kg de basura al día, lo que incluye plásticos, papel, vidrio, metales y residuos orgánicos³. Con una población mundial de más de 7.800 millones de personas, la cantidad total de residuos producidos diariamente es alarmante.

³ Derichebourg España. (2024). Una persona genera al día entre 1 y 1,3 kg de basura en España.

La mayor parte de estos residuos termina en vertederos, donde se descomponen lentamente, contaminando el suelo y el agua, y emitiendo gases de efecto invernadero como el metano, que exacerbam el cambio climático. Como se indica en la Ilustración 4, en 2021, el número de residuos alcanzó los 116 millones de toneladas, un volumen insostenible que subraya la urgencia de encontrar soluciones sostenibles y eficientes para la gestión de residuos.

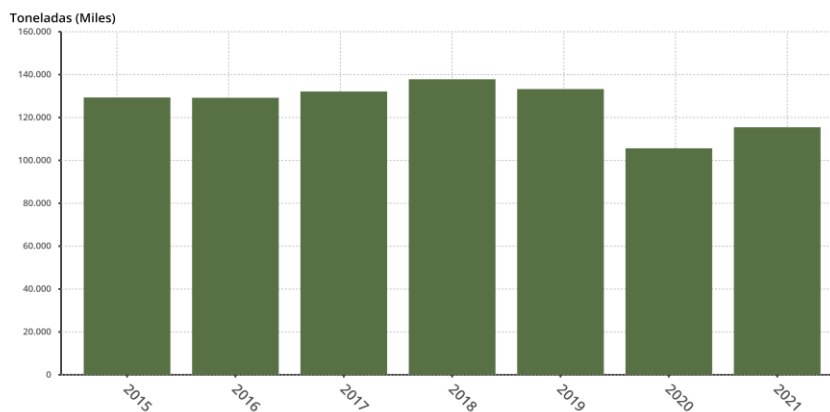


Ilustración 4: Evolución del número de residuos generados en España (Fuente: INE, Elaboración: INE)

Frente a esta realidad, surge la necesidad de explorar alternativas innovadoras como las plantas de biogás. Estas instalaciones aprovechan los residuos orgánicos para producir biogás, un combustible renovable que puede utilizarse para generar electricidad, calor y otros productos útiles. Al convertir los residuos en energía, no solo se reduce la cantidad de basura que va a los vertederos, sino que también se disminuye la dependencia de combustibles fósiles y se mitiga el impacto ambiental.

En este trabajo, se abordará el diseño técnico y económico, así como la planificación de una planta de biogás. Se analizará cómo esta tecnología puede ser una herramienta crucial en la gestión de residuos y en la promoción de un futuro más sostenible. A través de esta investigación, se demostrará que los residuos que generamos diariamente no son solo un problema, sino también una oportunidad para transformar nuestra manera de producir y consumir energía.

1.1.4 EL BIOGÁS

1.1.4.1 Definición y Composición del biogás

El biogás se produce al degradar biomasa mediante un proceso de ausencia de oxígeno denominado digestión anaeróbica. Es un gas renovable que está formado principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Pese a esto, el biogás tiene unas características generales mostradas en la Tabla 2:

Composición	55-70% metano (CH_4) 30-45% dióxido de carbono (CO_2) Trazas de otros gases como oxígeno, vapor de agua y sulfuro de hidrogeno (H_2S)
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650-750°C (con el contenido de CH_4 mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura critica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (olor del biogás desulfurado)

Tabla 2: Características generales del biogás (Fuente: Manual del biogás, Elaboración: Propia)

1.1.4.2 Proceso y obtención del biogás

La obtención del biogás se realiza a través de la digestión anaeróbica. Es un proceso en el que se introduce la materia orgánica que se quiere degradar, junto con los microorganismos encargados de degradarla, denominados bacterias metanogénicas, en un biodigestor. Los subproductos que resultan de este proceso son: bioabono y biogás. El bioabono se suele utilizar como un fertilizante para el campo mientras que el biogás puede utilizarse como fuente de energía para cocinar, obtener agua caliente, calentar un recinto, generar electricidad o para convertirlo en un gas natural.

1.1.4.3 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo ya que involucra un gran número de reacciones biológicas además de distintos tipos de microorganismos. Muchas de estas reacciones tienen lugar simultáneamente. Es importante recordar que todos los microorganismos actúan en ausencia de oxígeno para lograr degradar la biomasa insertada.

El proceso de digestión anaeróbica suele llevarse a cabo o bien a alrededor de 35°C durante al menos un mes (digestión mesofílica) o bien alrededor de 55°C durante al menos una semana (digestión termofílica).

Este proceso afecta a varios parámetros:

- Homogeniza y reduce el contenido de sólidos y la viscosidad
- Minimiza los malos olores de las deyecciones
- Estabiliza la concentración de materia orgánica
- La fracción de nitrógeno en forma amoniacal aumenta.
- Reduce el contenido de microorganismos patógenos (especialmente si se realiza a 55°C, es decir, en régimen termofílico)
- Favorece la decantación mediante la formación de agregados bacterianos

1.1.4.3.1 Digestión Anaeróbica Húmeda

La digestión anaeróbica húmeda se caracteriza por operar con un contenido de sólidos totales inferior al 18%, lo que significa que la mezcla tiene un alto contenido de agua y es más líquida. La digestión anaeróbica húmeda se utiliza comúnmente para el tratamiento

de residuos orgánicos con alto contenido de humedad, como lodos de depuradora (lodos de EDARI) y residuos alimentarios. Algunas de las características principales de este proceso de detallan a continuación:

- **Contenido de Sólidos Totales (ST):** Menor al 18%
- **Alta Humedad:** Proceso que requiere una alta cantidad de agua.
- **Mezcla Líquida:** La consistencia de la mezcla es más líquida debido al alto contenido de agua.
- **Estabilidad del Proceso:** La alta humedad facilita la mezcla y la transferencia de calor, proporcionando mayor estabilidad al proceso.
- **Eficiencia de Biogás:** Generalmente produce biogás con una buena eficiencia, adecuado para generar energía.

1.1.4.3.2 Digestión Anaeróbica Seca

A diferencia de la digestión húmeda, este proceso opera con un contenido de sólidos totales entre 18% y 40%, lo que significa que la mezcla tiene menos agua y es más parecida a una pasta. La digestión anaeróbica seca se utiliza principalmente para el tratamiento de residuos sólidos con bajo contenido de humedad, como residuos de jardinería, estiércol seco y ciertos residuos industriales. Las características principales de este proceso son las siguientes:

- **Contenido de Sólidos Totales (ST):** Entre 18% y 40%.
- **Baja Humedad:** Requiere menos agua que la digestión húmeda.
- **Mezcla Pastosa:** La consistencia de la mezcla es más sólida debido al menor contenido de agua.
- **Estabilidad del Proceso:** Puede ser más susceptible a la acumulación de ácidos grasos volátiles, requiriendo un manejo cuidadoso para mantener la estabilidad del proceso.

1.1.4.3.3 Fases

La descomposición anaeróbica se divide en 4 fases o etapas, dónde en cada una actúan microorganismos distintos.

1. Hidrólisis

La materia orgánica compleja como las proteínas, hidratos de carbono y lípidos son hidrolizadas mediante la acción de enzimas proteolíticas (proteasas) en aminoácidos, azúcares, monosacáridos, glicerina y ácidos grasos, moléculas más simples y fácilmente degradables para que los microorganismos puedan empezar su función. En términos más simples, la hidrólisis es la conversión de polímeros en sus respectivos monómeros.

Algunas de las bacterias que participan en esta etapa son: Bacteroides, Lactobacillus, Megasphaera y Sporobacterium.

2. Etapa acidogénica o fermentativa

En esta etapa tiene lugar la fermentación de los compuestos solubles de la etapa anterior. Estos serán transformados mediante la acción de bacterias acidogénicas y microorganismos dando como resultado ácido acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), hidrógeno (H_2) y ácido fórmico (CH_2O_2), que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas, y, compuestos orgánicos más reducidos como ácidos grasos volátiles, alcoholes, butírico, valérico, láctico, los cuales deben ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. Además de todos estos, también se produce dióxido de carbono (CO_2).

Las bacterias acidogénicas son las encargadas de eliminar el posible oxígeno existente en el reactor e incluyen, entre otras, Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus.

3. Etapa acetogénica

Como ya he mencionado previamente, algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados por las bacterias metanogénicas, en la última fase del proceso, sin

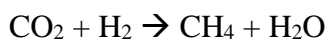
embargo, hay otros que requieren la transformación en productos más sencillos como acetato (CH_3COO^-) e hidrógeno (H_2) a través de las bacterias acetogénicas. Algunas de las bacterias acetogénicas que intervienen en esta etapa son: *Syntrophobacter wolini* y *Syntrophomonas wolfei*.

A esta altura del proceso, las bacterias anaeróbicas han extraído todo el alimento de la biomasa y como resultado de su metabolismo eliminan sus propios desechos de sus células. Estos productos, que se trata de ácidos volátiles sencillos, son los que se van a utilizar como sustrato en las bacterias metanogénicas en la etapa siguiente.

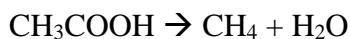
4. Etapa metanogénica

En esta etapa final del proceso, un amplio grupo de bacterias anaeróbicas estrictas actúa sobre los productos resultantes de las etapas anteriores. Las bacterias metanogénicas transforman el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, en metano y dióxido de carbono.

Se distinguen dos tipos de microorganismos, los que reducen el dióxido de carbono con hidrogeno a metano y agua, denominadas bacterias metanogénicas hidrogénofilas



Y por otro lado, las bacterias metanogénicas acetoclásicas que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono.



En esta fase se produce el 90% del total de metano que se produce en el biodigestor.

En la Ilustración 5 se muestra las diferentes fases de la digestión anaeróbica detallando qué bacterias actúan en cada una de ellas.

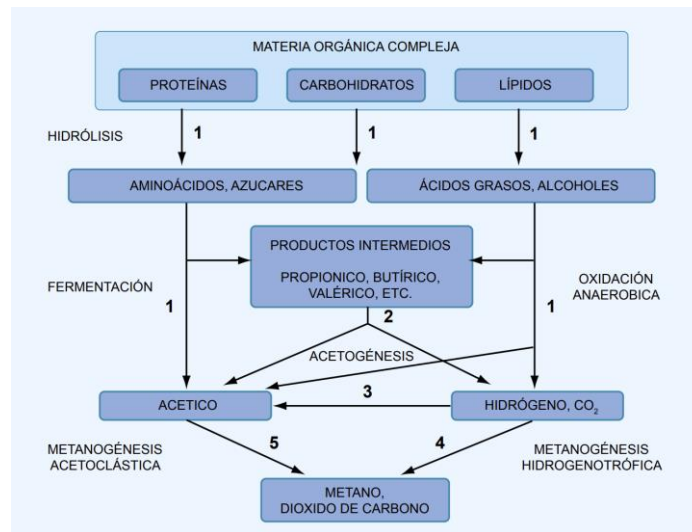


Ilustración 5: Fases de la digestión anaeróbica. 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas (Fuente: Manual del biogás, Elaboración: Manual del biogás)

1.1.4.3.4 Materias primas

Algunas de las materias primas que se utilizan para la producción de biogás son:

- Biomosas agrícolas: paja, tallos, cáscaras de frutas y restos de cosecha
- Biomosas agroalimentarias: productos perecederos y de rechazo (frutas y verduras que por características estéticas o excedente de producción acaban siendo desechadas) y los residuos generados en los procesos de envasado y transformación como por ejemplo la pulpa desechada en el proceso de obtención de azúcar.
- Biomosas ganaderas: estiércol de ganado vacuno, porcino, ovino, avícola u otro tipo de ganado.

Las industrias agroalimentarias generan una gran cantidad de residuos orgánicos. Aprovecharlos para el proceso de digestión anaerobia permite obtener valor económico de los mismos, pues se reducen los costes de tratamiento.

1.1.5 SITUACIÓN Y EMPLAZAMIENTO

1.1.5.1 Criterio de elección y emplazamiento

Al elegir el emplazamiento idóneo para construir la planta de biogás se han tenido en cuenta los siguientes criterios:

- Proximidad a la fuente de materia prima que se utilizará en el proceso.
- Cercanía a una subestación eléctrica con capacidad de acceso suficiente.
- Lejos de zona urbana para evitar quejas por malos olores.
- Cerca de una carretera para facilitar el acceso de camiones cargados de residuos.
- Polígono industrial cerca

Para lograr un buen trazado de la planta, en el área que se utilizará para su construcción, es imprescindible eliminar todo aquello que sea un estorbo, como escombros, hierbas, plantas, raíces, etcétera.

1.1.5.2 Ubicación de la planta

En base a los criterios mencionados anteriormente, la planta estará ubicada en el término municipal de Nules, provincia de Castellón en la Comunidad Valenciana, precisamente en el Polígono 27, Parcelas, 354, 355 y 387, sumando una superficie de 9.258 m². En las siguientes ilustraciones, Ilustración 6, Ilustración 7, Ilustración 8, e Ilustración 9 se muestra la ubicación exacta donde se construirá la planta de biogás en diferentes mapas.



Ilustración 6: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de España. (Fuente: Catastro)



Ilustración 7: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de la Comunidad Valenciana. (Fuente: Catastro)



Ilustración 8: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de la provincia de Castellón. (Fuente: Catastro)



Ilustración 9: Ubicación de la planta de biogás sobre el mapa de Nules. (Fuente: Catastro)

El conjunto de las parcelas está rodeado por las siguientes edificaciones, instalaciones, construcciones y elementos significativos:

- Al norte se encuentra la parcela 350 del polígono 27.

- Al sur se encuentra la carretera nacional N-225 que a la altura de Moncófar se solapa con la N-340 y junto con ella llegan a la ciudad de Castellón.
- Al este linda con la subestación eléctrica STR Moncófar.
- Al oeste limita con una vía ferroviaria.

Cabe destacar que esta ubicación permite situarse a 3,4 km del polígono industrial de la Mina, quedando éste al noroeste y la posibilidad de acceso a la planta a través de carreteras nacionales.

En la siguiente lista se encuentran las características de las parcelas impactadas por el proyecto según el Catastro.

- **Polígono 27, Parcela 355:** Referencia catastral: 12082A027003550000HB, Superficie: 5.053 m², Uso: Agrario, Término Municipal: Nules, Castellón.
- **Polígono 27, Parcela 354:** Referencia Catastral: 12082A027003540000HA, Superficie: 2.150 m², Uso: Agrario, Término Municipal: Nules, Castellón.
- **Polígono 27, Parcela 387:** Referencia Catastral: 12082A027003870000HB, Superficie: 2.055 m², Uso: Agrario, Término Municipal: Nules, Castellón.

En el Anexo I se adjuntan las fichas catastrales de todas las parcelas afectadas por la instalación de la planta.

La planta de biogás se conectará a través de una línea de baja tensión (20 kV) a la subestación eléctrica STR Moncófar gestionada por I-DE del Grupo Iberdrola, en concreto al punto de conexión MONCOFAR T1 con número de identificación 0412779510 que cuenta con una capacidad de acceso disponible de 7.9MW a fecha de estudio. Como la planta se proyecta de 0.5MW, esta capacidad es más que suficiente. En la siguiente tabla; Tabla 3 se encuentran las características del punto de conexión a la STR Moncófar suministradas por Iberdrola.

Identificador del punto de conexión	0412779510
Denominación del punto de conexión	MONCOFAR T1
Coordenada X (m) (WGS84 Mercator)	742847
Coordenada Y (m) (WGS84 Mercator)	4411083
Nivel de Tensión (kV)	20
Nudo de afección mayoritaria en la RdT	CASTE.INGEN(CAST) 220
Capacidad de Acceso Disponible (MW)	7.9

Tabla 3: Características de la subestación STR Moncófar. (Fuente: I-DE Iberdrola, Elaboración: Propia)

1.1.6 NORMATIVA Y LEGISLACIÓN DE APLICACIÓN

Para el diseño de la planta de producción de biogás se han tenido en cuenta la siguiente normativa, diferenciada en 7 categorías.

- Normativa de carácter urbanístico: La normativa urbanística aplicable al presente proyecto se rige por la normativa municipal de Castellón de la Plana. La zona donde se ubica el proyecto se clasifica como suelo rústico, es decir, suelo no protegido y no urbanizable.
- Normativa sanitaria: Real Decreto 1528/2012 por el que se establecen normas aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano.
- Normativa ambiental: Ley 22/2011 de residuos y suelos contaminados. Ley 21/2013 de evaluación ambiental. Decreto Legislativo 1/2015, donde se aprueba el texto refundido de la Ley de Prevención Ambiental de la Comunidad Valenciana. Real

Decreto 1/2016 por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de prevención y control integrados de la contaminación.

- Normativa referente al uso de digestato: Real Decreto 261/1996 sobre la protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias. Real Decreto 324/2000 por el que se establecen normas básicas de ordenación de las explotaciones porcinas. Real Decreto 506/2013 sobre productos fertilizantes.

- Normativa referente a instalaciones de gas y equipos a presión: Real Decreto 919/2006 por el que se aprueba el reglamento técnico de distribución y utilización de combustibles gaseosos y sus instrucciones técnicas complementarias. Reglamento 2016/426 del Parlamento y Consejo sobre el 9 de marzo de 2016 sobre los aparatos que queman combustibles gaseosos y por el que se deroga la directiva 2009/142/CE. Real Decreto 2060/2008 por el que se aprueba el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias.

- Normativa referente a la generación de energía eléctrica: Ley 6/2014 de Industria de la Comunidad Valenciana. Ley 21/1992 de Industria. Real Decreto 244/2019 por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. Ley 24/2013 del Sector Eléctrico. Real Decreto-Ley 15/2018 de medidas urgentes para la transición energética y protección de los consumidores.

- Normativa referente a instalaciones eléctricas: Real Decreto 337/2014 por el que se aprueba el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23. Real Decreto 233/2008 por el que se aprueba el

Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus instrucciones técnicas complementarias ITC-LAT 01 a 09. Real Decreto 842/2002 por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Capítulo 2. EVALUACIÓN TÉCNICA

2.1.1 PLANTA DE BIOGÁS

2.1.2 DISEÑO DE LA PLANTA

El diseño de esta planta se realiza tomando como dato la potencia eléctrica solicitada al punto de conexión a red, ésta es de 500kW, véase que esta es inferior a la capacidad de acceso disponible según información publicada por la distribuidora eléctrica (I-DE Iberdrola).

Para poder dimensionar el resto de los equipos es necesario calcular la cantidad de materia que ha de entrar en estos para obtener el resultado deseado. Es decir, partiendo del dato de potencia eléctrica, se retrocede en el diagrama de flujo de la operación, calculando la cantidad de biogás que se introduce en el motor y posteriormente la cantidad de materia prima que da lugar a esta producción de biogás. La Ilustración 10 muestra el flujo parcial inverso del motor.

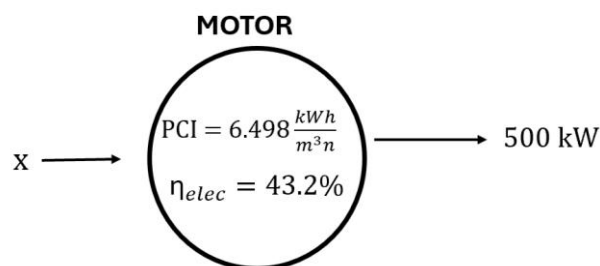


Ilustración 10: Flujo de biogás necesario para mover un motor de 500kW (Fuente: Propia y MWM, Elaboración: Propia)

Este diagrama de flujo corresponde al motor, en el que entran metros cúbicos de biogás y siguiendo las especificaciones de este da como resultado potencia eléctrica.

El poder calorífico inferior (PCI) es el calor realmente aprovechable. Este parámetro se calcula utilizando el poder calorífico del gas natural ya que contiene un porcentaje de

metano superior al 98%. El PCI del gas natural es 10.83KWh/m³n. Para el biogás con un contenido del 60% en metano el PCI será:

$$PCI_{biogás} = \% \text{ de metano que contiene el biogás} \cdot PCI_{gas \text{ natural}} = 0.6 \cdot 10.83 \frac{kWh}{m^3n} = 6.498 \frac{kWh}{m^3n}$$

El diagrama anteriormente mostrado resulta en la siguiente ecuación:

$$\eta_{elec} \cdot PCI_{biogás} \cdot x = \text{Potencia eléctrica}$$

Donde:

η_{elec} = Rendimiento eléctrico del motor.

$PCI_{biogás}$ = Poder calorífico inferior del biogás

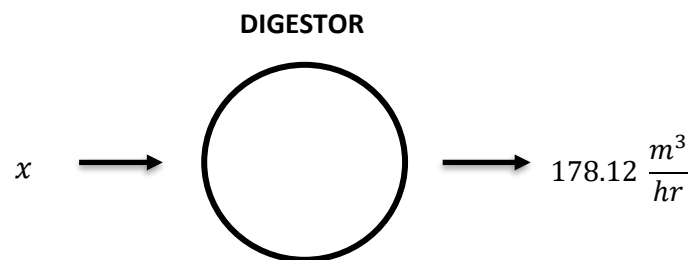
x = cantidad biogás en m³/hora necesaria a la entrada del motor

$$0.432 \cdot 6.498 \frac{kWh}{m^3} \cdot x = 500kWh$$

$$x = 178.12 \text{ m}^3/h$$

Como resultado de los cálculos anteriores, resulta que se tienen que producir 178,12 m³/h de biogás por hora.

La Ilustración 11 muestra el flujo parcial inverso del digestor. En éste entran toneladas de cada sustrato y sale la producción de biogás en metros cúbicos.



*Ilustración 11: Flujo de materia prima en el digestor para producir el objetivo de cantidad de biogás
(Fuente: Propia, Elaboración: Propia)*

Para esta relación es necesario conocer la producción de biogás por tonelada de cada suministro. En la Tabla 4 se proporciona estas características para los suministros utilizados en la planta según experiencia de plantas de tratamiento de residuos y biogás.

<i>Materia Prima</i>	<i>Producción biogás por tonelada (m³/T)</i>
Purín de cerdo	25 m ³ /tonelada
Lodos de EDARI de empresas cítricas	40 m ³ /tonelada
Alperujo	139 m ³ /tonelada
Lodos de EDARI de empresas cárnicas	110 m ³ /tonelada

Tabla 4: Producción de biogás por tonelada de materia prima (Fuente: Industria, Elaboración: propia)

Resultando en la siguiente ecuación:

$$25 \cdot x_1 + 40 \cdot x_2 + 139 \cdot x_3 + 110 \cdot x_4 = 178.12 \frac{m^3}{hr}$$

Donde:

x_1 : cantidad de purín de cerdo

x_2 : cantidad de lodos de EDARI de empresas cítricas

x_3 : cantidad de alperujo

x_4 : cantidad de lodos de EDARI de empresas cárnicas

Tal y como se ha indicado anteriormente, se decide la mezcla de 4 tipos de sustratos distintos ya que son recursos disponibles en la zona y la mezcla permite no depender de ninguno. Tres de ellos destacan por ser de abastecimiento constante (purín de cerdo, restos cárnicos y restos cítricos). Esto no implica que la cantidad de estas materias primas introducidas en el digestor tenga que ser igual durante todo el año. Se irán ajustando en función de la disponibilidad del alperujo, ya que es estacional. Concretamente cuando haya disponibilidad de alperujo, se reducirá la cantidad de purínes y ambos lodos para introducir éste y así mantener la producción de biogás constante en el tiempo. El alperujo cobra protagonismo de octubre a abril, aunque se disponga de él durante todo el año. Debido a esta estacionalidad, se diferencia la entrada de sustratos en 2 temporadas (octubre-abril y mayo-septiembre).

Cabe destacar, que también se ha tenido en cuenta una humedad en el digestor del entorno al 85% ya que la digestión anaeróbica húmeda, la que se lleva a cabo en este

proyecto, es efectiva cuando el porcentaje de humedad es del 80%-85%. Se utiliza como dato la humedad de cada tipo de sustrato, especificada en la siguiente Tabla 5, para garantizar que la mezcla de sustratos insertada en el digestor tiene una humedad que se encuentra en el rango mencionado anteriormente.

<i>Sustrato</i>	<i>Humedad (%)</i>
Purín de cerdo	95
Lodos de EDARI de empresas cítricas	75
Alperujo	85
Lodos de EDARI de empresas cárnicas	75

Tabla 5: Humedad de cada materia prima (Fuente: Industria, Elaboración: Propia)

En la Tabla 6 se muestra la cantidad horaria y diaria de materia prima utilizada en el proceso para la temporada invernal y la Tabla 7 muestra la cantidad horaria y diaria de materia prima utilizada en el proceso para la temporada estival. Mediante iteración y teniendo en cuenta las características de la zona donde está situada la planta, es decir, la cantidad posible de entrada de cada materia prima, y el objetivo de producción de biogás de $178.12 \frac{m^3}{hr}$, en las siguientes tablas se detalla la solución escogida.

<i>Sustrato</i>	<i>Cantidad solido por hora (to/h)</i>	<i>Cantidad Sólido-Alimentada (to/día)</i>
Purín de cerdo	1	24
Lodos de EDARI de empresas cítricas	0,75	18
Alperujo	0,458	11

Lodos de EDARI de empresas cárnicas	0,542	13
Cantidad total	2,75	66

Tabla 6: Tabla 6. Cantidad de materia prima en Invierno (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

<i>Sustrato</i>	<i>Cantidad sólido por hora (to/h)</i>	<i>Cantidad Sólido-Alimentada (to/día)</i>
Purín de cerdo	1,042	25
Lodos de EDARI de empresas cítricas	0,792	19
Alperujo	0,417	10
Lodos de EDARI de empresas cárnicas	0,583	14
Cantidad total	2,83	68

Tabla 7: Cantidad de materia prima Estival (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

Utilizando los datos de las tablas y mediante iteración se resuelve la siguiente ecuación:

$$25 \cdot x_1 + 40 \cdot x_2 + 139 \cdot x_3 + 110 \cdot x_4 = 178.12 \frac{m^3}{hr}$$

Tras la iteración, se llega a una producción de biogás de aproximadamente 178,292 m³/hr para invierno y de 179,792 m³/hr para verano, siendo éstas ligeramente superior a los 178.12 m³/hr necesarios, quedando el sistema levemente sobrecargado.

Se logra una humedad en el digestor de 83,939% en invierno y de 83,824% en verano, cumpliendo ambas con la especificación de humedad necesaria en la digestión anaeróbica húmeda.

Cabe mencionar que el purín de cerdo de cebo, al tener una humedad del 95% y por tanto ser prácticamente materia prima líquida en vez de sólida, se utiliza la densidad del

agua, de 1.000 kg/m³, y por tanto se aproxima los m³ de purín que entran en el digestor a toneladas. Esta aproximación se utilizará durante el proyecto siempre que hablemos del purín.

2.1.3 ENTRADAS DE MATERIA PRIMA

Como se ha dicho anteriormente, se ha buscado mezclar cuatro residuos para no tener una dependencia absoluta en solo uno. Tanto el purín de cerdo de cebo, los lodos de EDARI de empresas cárnicas de procesado y los lodos de EDARI de empresas cítricas son de abastecimiento constante. Además, se quiere complementar con un producto estacional: alperujo, dominante en la zona del levante de España.

Estos sustratos tienen un tiempo de retención parecido, y por ello la misma velocidad de degradación. Esto quiere decir que todos los sustratos son degradados a la vez y por ello el flujo de alimentación es constante.

Moncófar, situado en Castellón de la Plana, es una zona con una destacada actividad agrícola y ganadera. La agricultura en Moncófar se caracteriza principalmente por la producción de cítricos, especialmente naranjas, aprovechando el clima favorable y la tradición agrícola de la región.

En cuanto a la ganadería, Moncófar cuenta con una considerable presencia de explotaciones porcinas. Los purines de cerdo, un subproducto de estas explotaciones, representan una fuente constante de residuos que pueden ser aprovechados en procesos de digestión anaeróbica para la producción de biogás.

La combinación de estas actividades agrícolas y ganaderas proporciona una base sólida de sustratos que pueden ser utilizados en la planta de biogás, asegurando un suministro regular y diversificado de materias primas para la generación de energía renovable.

En la siguiente lista, se detallan los 4 sustratos elegidos:

- **Purín de cerdo de cebo:** el purín es un tipo de estiércol, un subproducto compuesto por la mezcla de heces, orines, paja y agua de limpieza que se genera en las explotaciones ganaderas.
- **Lodos de EDARI empresas de cítricas:** Los lodos de EDARI de empresas cítricas son residuos concentrados de materia orgánica obtenidos a partir de la separación física de las aguas del proceso industrial. Estos residuos sólidos orgánicos provienen de empresas que procesan frutas, incluyendo piezas de fruta descartadas, cáscaras, pieles y pulpa.

Durante el proceso de producción, como en la elaboración de zumos y batidos, se generan residuos sólidos que no pueden ser vertidos directamente a las alcantarillas debido a su alta carga orgánica. En las plantas depuradoras, estos residuos pasan por una centrifugadora que separa las fases líquida y sólida. La fase sólida, que contiene la mayor parte de la carga orgánica, se recoge y se transporta a la planta de biogás para su procesamiento. Mientras tanto, la fase líquida se trata adicionalmente hasta cumplir con los parámetros legales antes de ser vertida en las alcantarillas.

- **Alperujo:** El alperujo es un subproducto que se genera en el proceso de extracción de aceite de oliva en las almazaras. Consiste en una mezcla de diferentes elementos:
 - Aguas de vegetación o alpechines: son los líquidos resultantes de la prensa de aceitunas.
 - Partes sólidas de la aceituna: el hueso (es destinado a biomasa seca) , el mesocarpio (pulpa) y la piel.
 - Restos grasos

Se puede definir el alperujo como todo lo que queda de la aceituna después de haber extraído el aceite de oliva.

- **Lodos de EDARI de empresas cárnicas de procesado:** Los lodos de EDARI de empresas cárnicas son residuos concentrados de materia orgánica obtenidos a partir de la separación física de las aguas residuales del proceso de matanza y

procesamiento de carne. Estos residuos sólidos incluyen partes grasas y restos cárnicos que no se utilizan en el producto final.

En un matadero, durante el proceso de despiece y limpieza de las áreas de trabajo, se generan grandes cantidades de residuos orgánicos y agua sucia. Estos residuos se recogen y se llevan a una planta depuradora, donde primero se separan las fases líquida y sólida mediante una centrifugadora. La fase líquida se trata hasta cumplir con los parámetros de vertido permitidos y luego se descarga en las alcantarillas. Por otro lado, la fase sólida, que contiene la mayor parte de la carga orgánica, se recoge y se transporta a la planta de biogás.

El haber escogido 4 sustratos distintos requiere de un proceso de co-digestión. La co-digestión anaerobia ocurre al tratar simultáneamente dos o más sustratos de distinto origen y composición, lo cual mejora el equilibrio de nutrientes y las características fisicoquímicas del sustrato. Lo que un sustrato carece, puede ser aportado por otro y por tanto hay un equilibrio en el digestor. Este proceso contribuye a una estabilización más efectiva del sistema y a una mayor generación de biogás.

Algunas de las ventajas de la co-digestión son:

- Beneficiarse de la interacción de las mezclas, compensando las carencias de cada sustrato por separado, y conseguir una producción de biogás más eficiente.
- Reducir los costes de inversión y explotación.
- Unificar la metodología de gestión.
- Amortiguar las variaciones temporales de producción y composición que afectan a cada residuo por separado.

2.1.4 PROCESO PRODUCTIVO

El proceso productivo completo es definido por el almacenaje y digestión de varias materias de entrada y la utilización del biogás producido como combustible y el digestato como fertilizante.

- Área de recepción: La mezcla de entrada de la planta de biogás consiste en residuos ganaderos (purín de cerdo de cebo, lodos de EDARI de empresas cárnicas) y residuos alimentarios (lodos de EDARI de empresas cítricas y alperujo).

Llegará a la planta a través de camiones de transporte externos a este proyecto los cuales pasaran por una estación de pesado a su entrada y salida.

- Almacenamiento y pre-almacenamiento del material de entrada:

- Almacenamiento sólido: Una vez los camiones traen la materia sólida a la planta ésta se deposita en unas balsas de pre-almacenaje . Posteriormente, los diferentes tipos de sustratos sólidos (lodos de EDARI de empresas cárnicas, alperujo y lodos de EDARI de empresas cítricas), se cargan en una tolva de alimentación de material seco donde un tornillo vertical lo mezcla para conseguir una masa homogénea.
- Almacenamiento líquido: El estiércol de cerdo es bombeado a un tanque de pre-almacenaje que sirve de pulmón de almacenamiento. En los momentos necesarios este estiércol es bombeado a el tanque digestor en las cantidades precisas.

- Proceso de digestión anaerobia: : Una vez se introducen todos los materiales líquidos y sólidos en el digestor, comienza el proceso de digestión anaeróbica del conjunto llamado sustrato.

Aquí en ausencia de agua y luz, las bacterias convierten el material orgánico en biogás (aprox. 60% metano y 40% de dióxido de carbono) y digestato.

El sustrato se mantiene a una temperatura aproximada de 37°C (rango mesofílico) con la calefacción de paredes y suelo que emplea el calor recuperado del motor. La

planta está diseñada para trabajar en un rango de temperaturas mesofílicas ya que la bacteria mesofílica es la menos sensible respecto a fluctuaciones de temperatura.

Para mantener la pérdida de calor al mínimo, el depósito es aislado con placas de poliuretano y forrado exteriormente con hojas de aluminio para su protección de las condiciones climáticas adversas.

El digestor está equipado con una cubierta de madera que trabaja como almacenaje de gas y como superficie de asentamiento de la bacteria desazufradora. Una cubierta flexible de plástico se coloca sobre la estructura de madera. Esta cubierta trabaja como almacén regulador del biogás producido ya que dada su flexibilidad sube o baja según la producción de gas. Una segunda cubierta de plástico sirve como protección contra el viento y las condiciones meteorológicas.

- Utilización del biogás: El biogás, a baja presión, se transporta al sistema de uso mediante una tubería subterránea de polietileno equipada con dispositivos de seguridad. Durante el transporte, el biogás se enfría, y la humedad se condensa y recoge en un foso para condensados. El condensado se bombea al almacén de digestato.

El gas se utiliza en una unidad combinada de calor y energía que consta de un motor de combustión y un alternador. El motor, alimentado con biogás, acciona el alternador que produce electricidad, la cual puede usarse directamente o inyectarse a la red.

- Utilización del calor producido por el motor: El calor emitido por el circuito de refrigeración del motor es capturado y empleado en calentar los digestores.
- Almacenamiento y utilización del digestato final: El digestato final será sometido a un proceso de separación mediante un separador por presión helicoidal dando lugar a una fracción líquida del digestato, que es almacenada en un depósito de hormigón

hasta que es empleado para su aplicación al suelo como fertilizante. La fracción sólida se almacenará sobre una solera de hormigón impermeable para su posterior uso como fertilizante sólido.

Esta separación de las fracciones sólida y líquida facilita el uso posterior como fertilizante no sólo por sus diferentes modos de aplicación al suelo si no porque durante la separación se produce una reducción del 10-15% del nitrógeno total, quedando en la fracción líquida un 25-30% del existente en el sustrato original, lo que permite su aplicación al suelo con mayor cantidad por hectárea que el purín fresco sin tratar.

En la Ilustración 12 se muestra un diagrama de fases del proceso productivo de la planta de biogás.

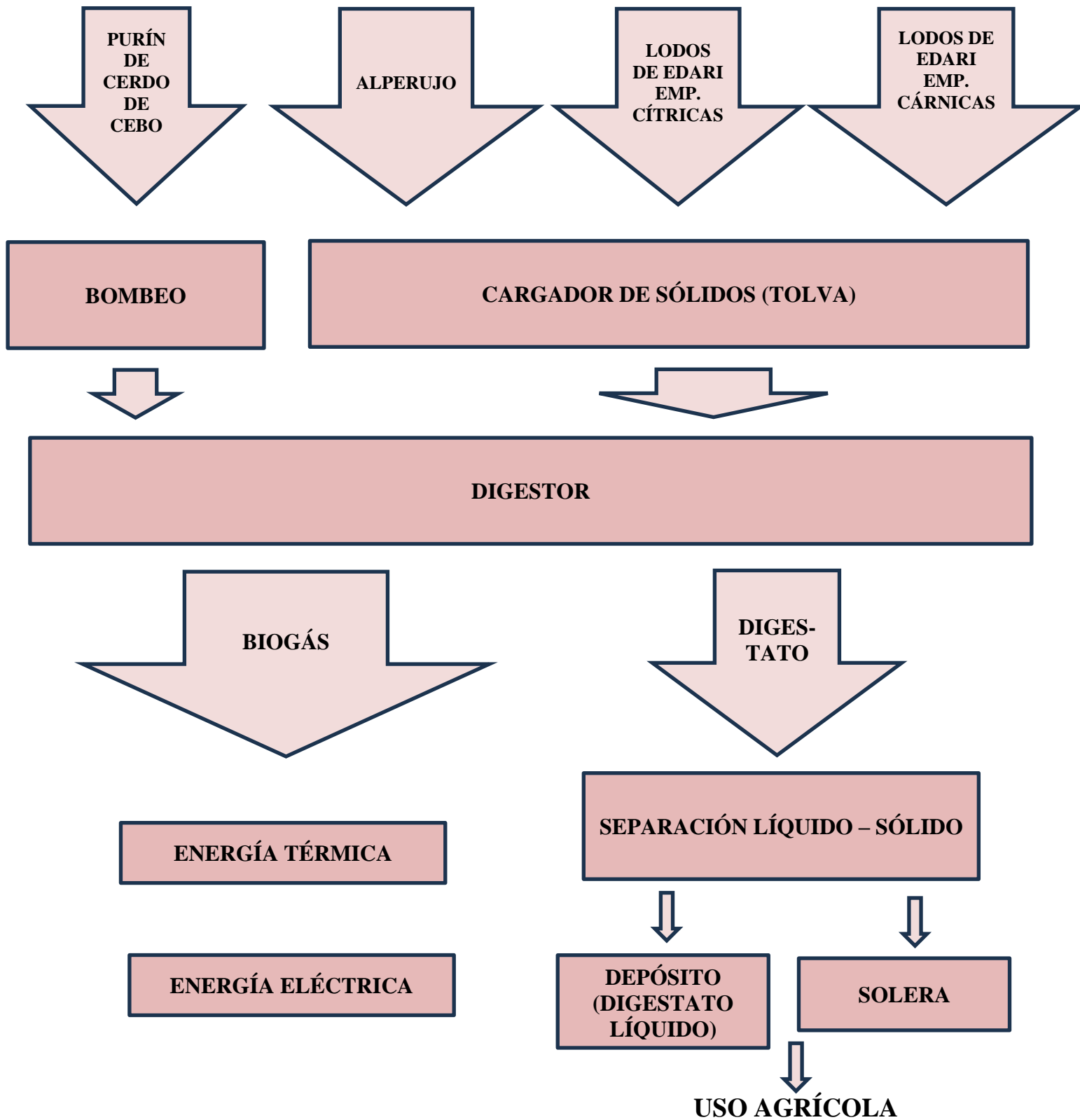


Ilustración 12: Proceso productivo de la planta de biogás (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

2.1.5 SALIDAS DEL SISTEMA

La planta de biogás genera dos productos aprovechables: la energía eléctrica y el digestato, utilizado como fertilizante.

- Salida 1: Biogás y Generación de Energía Eléctrica: El biogás producido a través de la digestión anaeróbica de las materias primas en el digestor es utilizado para generar energía eléctrica. Este proceso se lleva a cabo de la siguiente manera:
 - Las materias primas se degradan en el digestor anaeróbico, produciendo biogás como subproducto. Este biogás está compuesto principalmente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂).
 - El biogás producido es conducido a un motor de combustión interna. Este motor convierte la energía química del biogás en energía mecánica y, posteriormente, en energía eléctrica. La potencia eléctrica generada por el motor es de 500 kW.
 - La energía eléctrica se genera a una tensión significativamente menor que los 20kV requeridos en el punto de conexión de la subestación eléctrica MONCOFAR T1. Por ello, es necesario transportar esta energía a un Centro de Transformación (CT), donde se incrementará la tensión para cumplir con los requisitos de la subestación.
 - La energía eléctrica de 20kV es transferida a través de una línea de media tensión hasta la subestación eléctrica MONCOFAR T1, operada por I-DE Grupo Iberdrola. Aquí, la energía se integra en la red de distribución para su uso general.

- Salida 2: Digestato y su uso como fertilizante: El digestato, que resulta de la digestión anaeróbica de las materias primas, se convierte en un subproducto aprovechable cuando se procesa adecuadamente para su uso como fertilizante. A continuación, se detalla el proceso de manejo y aprovechamiento del digestato:

- El digestato se pasa a través de un separador por presión helicoidal, dividiéndose en fracción líquida y fracción sólida. Esta separación facilita el manejo y la aplicación del digestato como fertilizante.
 - La fracción líquida del digestato se almacena en un depósito de hormigón. Esta fracción contiene una mayor proporción de nutrientes solubles, lo que permite su aplicación directa al suelo como fertilizante líquido.
 - La fracción sólida se almacena sobre una solera de hormigón impermeable. Esta fracción es más adecuada para su uso como fertilizante sólido, proporcionando nutrientes de liberación lenta al suelo.

2.1.6 FACTORES QUE AFECTAN EL PROCESO

El proceso de la digestión anaeróbica requiere el control de ciertos parámetros ya que los microorganismos involucrados, especialmente las bacterias metanogénicas, son muy susceptibles a las alteraciones en las condiciones del medio ambiente. Esto es imprescindible para asegurarse que el proceso tiene lugar con normalidad, sin perjudicar el proceso.

- **Temperatura**: La temperatura de funcionamiento del digestor, es vista como uno de los principales factores de diseño, debido a la gran influencia que tiene ésta en la velocidad de la digestión anaeróbica.

Un incremento en la temperatura aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y por tanto el proceso de digestión se ve acelerado, lo que conlleva una mayor producción de biogás. El calentamiento también resulta indispensable para contrarrestar las pérdidas de calor del digestor hacia la atmósfera y para compensar las cargas térmicas generadas al agregar nueva materia prima al digestor. Existen tres intervalos de temperatura en los cuales los microorganismos anaeróbicos pueden operar:

- Psicofílico: la temperatura de operación es menor a 25°C. El tiempo de retención suele ser de 100 días, por tanto al ser tan elevado, este rango de

temperatura no se utiliza a nivel industrial ya que se alcanzan niveles de producción de biogás considerablemente más reducidos.

- Mesofílico: este régimen es el más utilizado. La temperatura de operación se encuentra entre los 25°C-40°C. Es el intervalo más común en instalaciones de biogás individuales, ya que ofrece un proceso estable y con cierta capacidad para tolerar pequeñas variaciones de temperatura.
- Termofílico: esta etapa equivale a temperaturas en torno a los 50°C/60°C. Es la etapa con el menor tiempo de retención y por ello se está utilizando cada vez más ya que consigue una velocidad mayor del proceso y por tanto un incremento en la eliminación de microorganismos patógenos. No obstante, el régimen termofílico tiende a ser menos estable ante cualquier alteración en las condiciones de operación y también conlleva mayores desafíos relacionados con la inhibición del proceso debido a la mayor toxicidad de ciertos compuestos a altas temperaturas, como el amoníaco nitrogenado o los ácidos grasos de cadena larga. Este rango es recomendable para residuos con altos tiempos de retención.

En la Ilustración 13 se muestra la producción de biogás según la temperatura:

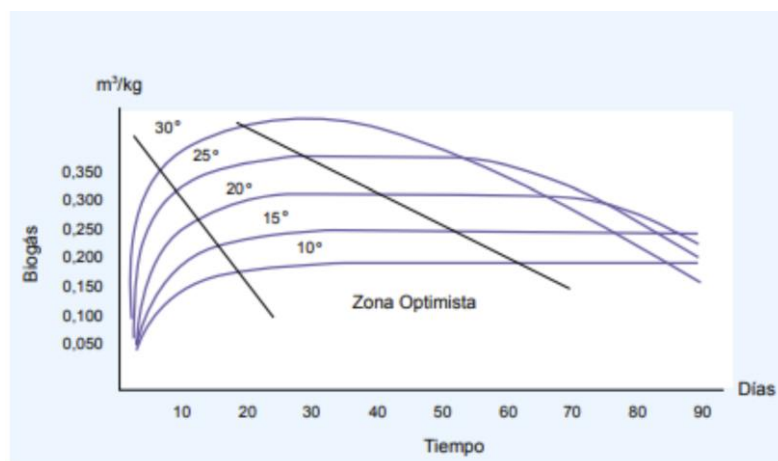


Ilustración 13: Producción de biogás en función de la temperatura (Fuente: IDEA, Elaboración: IDEA)

- **Relación carbono/nitrógeno:**

El carbono y el nitrógeno son las fuentes predominantes de las bacterias metanogénicas. Mientras que el carbono compone la fuente de energía, el nitrógeno se utiliza para la formación de células nuevas. Las bacterias metanogénicas consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, y, por tanto, la relación ideal de estos dos elementos en la materia prima se encuentra en el rango de 30:1 hasta 20:1.

Si la relación C/N es superior a 35:1, la degradación de materiales es considerablemente más lenta, puesto que un bajo contenido en nitrógeno hace que el desarrollo y la multiplicación de bacterias sea bajo. Mientras que, un alto contenido en carbono hace que el proceso de producción del biogás sea más prolongado.

Por otro lado, si nos vamos a relaciones C/N del tipo 8:1, las bacterias se inhiben duramente por falta de nutrientes, en este caso el carbono. Además, en este caso, se forma un alto contenido en amonio, y éste al ser tóxico también causa la inhibición del proceso.

Como he mencionado antes, la relación óptima de C/N es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, por lo que, si el residuo utilizado no tiene esta relación, será necesario realizar mezclas de distintas materias para conseguir la relación adecuada.

- **Sólidos Totales y Sólidos Volátiles:**

La materia orgánica está formada por agua y una parte sólida. Se denomina 'Sólidos Totales' (ST), a la fracción sólida de la materia orgánica. Este es otro factor importante a tener en cuenta ya que la actividad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato disminuye a medida que el contenido de sólidos aumenta. Por esta razón, la producción y eficiencia del biogás se puede ver afectada.

A continuación, en la Tabla 8, se muestra la cantidad de sólidos totales de cada materia prima que se utiliza en el proceso:

<i>Materias primas</i>	<i>% Sólidos totales</i>
Purín de cerdo de cebo	5
Lodos de EDARI de empresas cítricas	25
Alperujo	15
Lodos de EDARI de empresas cárnicas	25

Tabla 8: Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos. (Fuente: Industria, Elaboración: Propia)

Además, la digestión anaeróbica húmeda es eficiente con un porcentaje de sólidos totales menor del 18%. Utilizando los datos de la Tabla 8, se calcula que el porcentaje de sólidos totales en el digestor es de 16,17% en verano y de 16,07% en invierno, por tanto, el proceso de digestión anaeróbica húmeda es el más adecuado.

Se denomina ‘Sólidos Volátiles’ (S.V.) a la proporción de sólidos totales que se desprende y volatiliza cuando se somete a un calentamiento a 600°C durante un periodo de dos horas.

- **Tiempo de retención hidráulico (TRH) :**

Se denomina tiempo de retención hidráulico (TRH) al tiempo medio durante el cual el influente permanece en el reactor bajo la influencia de los microorganismos.

El concepto de TRH hace referencia al volumen de materia orgánica introducido diariamente en el digestor. Esta medida guarda una relación inversa con el tiempo de residencia, ya que a medida que aumenta la carga volumétrica, el tiempo de residencia disminuye.

La relación entre el tiempo de retención y el volumen diario de carga necesario para alimentar el digestor viene dada por la siguiente ecuación:

$$\text{Volumen de carga diaria} \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right) = \frac{\text{Volumen del digestor} (m^3)}{\text{Tiempo de retención} (\text{días})}$$

Según podemos deducir por la fórmula, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digestor se reduce y también los costes.

Además, a medida que incrementamos la carga de sustrato por unidad de tiempo, el tiempo de retención hidráulico disminuye. Sin embargo, es importante considerar que el valor del TRH debe ser lo bastante prolongado para garantizar que la eliminación de microorganismos en el proceso de digestión anaeróbica con el digestato sea mayor que la cantidad de microorganismos generados. Cuanto menor sea el TRH, mayor será la eficiencia del flujo de sustrato, pero se generará una menor cantidad de biogás.

- **Velocidad de carga orgánica (VCO):**

Se denomina ‘Velocidad de carga orgánica’ a la cantidad de materia orgánica ingresada diariamente en el digestor por unidad de volumen, y está directamente relacionada con la concentración de sustrato y el tiempo de retención establecido.

Valores bajos de este parámetro indican una baja concentración de sustrato o tiempos de retención elevados.

En la Ilustración 14 se presentan algunos ejemplos de cómo varía la carga orgánica según la cantidad de materia orgánica contenida en el residuo a procesar.

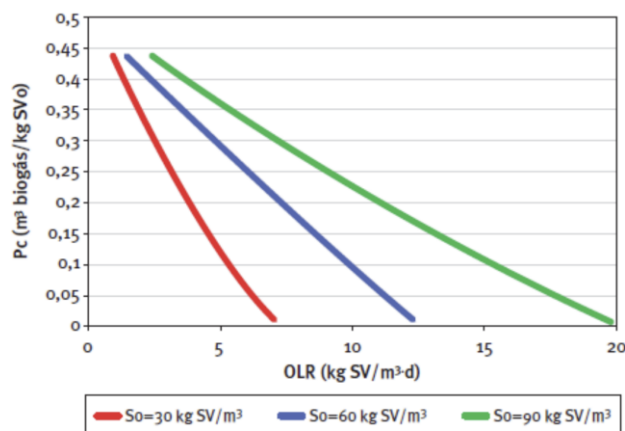


Ilustración 14: Producción de biogás por unidad de carga orgánica (Fuente: OLR, Elaboración: OLR)

- **Rangos de pH y alcalinidad:**

Los microorganismos metanogénicos son los más sensibles a las fluctuaciones de pH que los demás microorganismos presentes en la comunidad microbiana anaeróbica.

El proceso anaeróbico se ve negativamente afectado por ligeros cambios en los niveles de pH que se sitúan fuera del rango óptimo.

Los diversos grupos de microorganismos que participan en el proceso de digestión anaeróbica muestran niveles de actividad óptimos cerca de la neutralidad.

- Acidogénicos: el pH óptimo se encuentra entre 5.5 y 6.5
- Metanogénicos: el pH óptimo se encuentra entre 7.8 y 8.2

Para que el proceso se lleve a cabo de manera efectiva, es fundamental que el pH se mantenga dentro del rango de 6.0 a 8.0.

El nivel de acidez en el digestor no solo influye en la producción de biogás, sino también en su composición. Cuando el pH desciende por debajo de 6, una de las consecuencias es que el biogás generado contiene menos metano y, por lo tanto, posee menos valor energético. Como ya sabemos, la metanogénesis es la etapa limitante del proceso y por tanto es fundamental mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad (pH=7).

- **Potencial redox:**

Para garantizar el óptimo crecimiento de los anaerobios obligados, es fundamental mantener el potencial redox en un rango de -220 mV a -350 mV a un pH de 7.0. Esto asegura un entorno fuertemente reductor, necesario para la actividad óptima de las bacterias metanogénicas.

- **Nutrientes:**

La existencia de macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) es esencial para el desarrollo óptimo del proceso de digestión anaeróbica,

siendo crucial mantener un equilibrio adecuado entre estos nutrientes para favorecer el crecimiento de la flora bacteriana en el entorno. La mayoría de los residuos ganaderos o de aguas residuales cumplen con estos requisitos. Sin embargo, en algunos residuos industriales, puede ser necesario realizar una adición o un tratamiento posterior para lograr la proporción adecuada de nutrientes.

- **Elementos tóxicos e inhibidores:**

La digestión anaeróbica es inhibida por la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden estar presentes en las materias primas que ingresar al digestor (amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, el cianuro y los fenoles), o pueden ser productos secundarios del metabolismo de los microorganismos anaeróbicos (sulfuro, amoníaco, ácidos grasos de cadena larga).

La concentración de estos elementos debe ser lo más baja posible.

2.1.7 EQUIPOS

En el Anexo VIII se presenta el plano de la planta, donde se muestran todos los equipos numerados junto con sus respectivas dimensiones.

2.1.8 TANQUE DE PRE-ALMACENAMIENTO LÍQUIDO

El purín de cerdo de cebo, un tipo de estiércol líquido es un subproducto generado en las explotaciones ganaderas. Este se compone de una mezcla de heces, orines, paja y agua de limpieza, y se caracteriza por su alta humedad, alcanzando niveles del 95% o superiores. Dada esta alta humedad, la densidad del purín se asemeja a la del agua, lo que facilita su manejo en términos de volumen y masa.

El purín tiene periodos de mayor producción y otros de menor producción por tanto será bombeado a un tanque de pre-almacenaje que actuará como un pulmón de almacenamiento. Este tanque es crucial para regular el flujo de purín hacia el digestor, asegurando que se introduzca la cantidad precisa de material en los momentos adecuados para el proceso de digestión anaerobia.

La producción de purín de cerdo de cebo no es constante a lo largo del año, presentando variaciones estacionales que afectan su disponibilidad. En invierno, se introducen en el digestor 24 toneladas de purín por día, mientras que en verano la cantidad aumenta a 25 toneladas por día. Para garantizar un diseño eficiente y evitar desbordamientos o faltantes, se dimensionará el tanque de pre-almacenaje tomando como referencia la mayor cantidad de purín producida, es decir, 25 toneladas diarias.

Dado que la densidad del purín es aproximadamente igual a la del agua, la cantidad diaria de purín, 25 toneladas, se puede aproximar a un volumen de 25 metros cúbicos

Debido a la inestabilidad del suministro del residuo queremos garantizar un tiempo de seguridad de servicio de 15 días. El tiempo de seguridad es el periodo durante el cual el tanque debe ser capaz de abastecer el digestor sin necesidad de recibir nuevos suministros de purín. Por tanto, el tanque debe tener la capacidad de almacenar suficiente purín para mantener el proceso de digestión anaeróbica en funcionamiento durante 15 días continuos, independientemente de la variabilidad en la producción o entrega del purín.

Mediante la siguiente ecuación, podemos deducir el volumen del tanque de pre-almacenamiento.

$$V = Q \cdot t$$

Donde:

V = volumen del tanque de pre-almacenamiento (m^3).

Q = caudal de purín utilizado en el proceso ($m^3/día$).

t = tiempo de seguridad (días).

$$V = 25 \cdot 15 = 375 m^3$$

El tanque de pre-almacenamiento del purín de cerdo de cebo tendrá una capacidad de $375 m^3$. Este tanque almacenará el purín a la espera de ser introducido en el digestor. Para garantizar la durabilidad y la resistencia, el tanque será de hormigón armado y tendrá una forma circular.

Dado que el tanque es cilíndrico y se ha fijado el diámetro en 10 metros, la altura del tanque se puede calcular usando la siguiente ecuación:

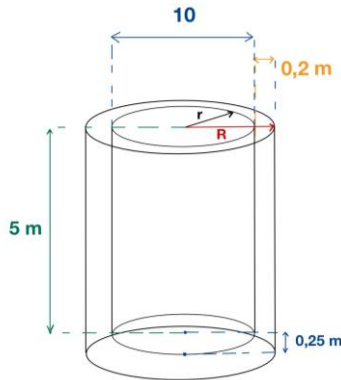
$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H$$

$$375 = \pi \cdot 5^2 \cdot H$$

$$H = 4,78 m$$

Para simplificar la construcción, se ha decidido fijar la altura en 5 metros.

El tanque de pre-almacenamiento incluirá un mezclador y una bomba sumergible para asegurar una homogenización adecuada del purín y facilitar su transporte al digestor.



Para determinar la cantidad de hormigón armado necesario para la construcción del tanque de pre-almacenamiento, se fija el grosor de las paredes a 20 cm. El volumen de hormigón se calcula utilizando la siguiente ecuación, que considera tanto el volumen del tanque externo como el interno:

Por tanto, el volumen de hormigón que se necesita se calcula por diferencia de volúmenes mediante la siguiente ecuación:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H - \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Donde:

R = radio externo del tanque

r = radio interno del tanque

H y h= altura del tanque

$$V = \pi \cdot 5,2^2 \cdot 5 - \pi \cdot 5^2 \cdot 5 = 32,044 \text{ m}^3$$

Además, se calcula el volumen de la base, que también estará hecha de hormigón armado. Dicha base, tiene una altura de 0,25 metros , por tanto, su volumen se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$V = \pi \cdot 5,2^2 \cdot 0,25 = 21,237 \text{ m}^3$$

Por tanto, para la construcción del tanque de pre-almacenamiento del purín de cerdo de cebo, se necesitarán aproximadamente 53,28 m³ de hormigón armado.

2.1.9 PRE-ALMACENAMIENTO DE MATERIA PRIMA SÓLIDA

2.1.9.1 Balsa de pre-almacenaje para el alperujo

El alperujo es un subproducto que se obtiene durante el proceso de extracción del aceite de oliva en las almazaras. Este material residual está compuesto por una mezcla de varios elementos, entre los que se incluyen: aguas de vegetación o alpechines, partes sólidas de la aceituna y restos grasos. En resumen, el alperujo es todo lo que queda de la aceituna después de haber extraído el aceite de oliva.

Dado que el alperujo tiene una humedad del 85%, resulta muy escurridizo para ser almacenado sobre una solera convencional. Por esta razón, es necesario utilizar balsas específicas para su almacenamiento.

Una vez que los camiones traen esta materia semi sólida a la planta, se deposita en dichas balsas de pre-almacenaje. Posteriormente, los diferentes tipos de sustratos sólidos (ambos lodos y el alperujo) se cargan en una tolva de alimentación de material seco, donde un tornillo vertical los mezcla para conseguir una masa homogénea.

A diferencia de otros sustratos que tienen un abastecimiento constante, el alperujo presenta una notable estacionalidad. Su producción se intensifica entre octubre y abril, aunque se dispone de él durante todo el año. Debido a esta estacionalidad, se diferencia la entrada de sustratos en dos temporadas: de octubre a abril (invierno) y de mayo a septiembre (verano).

Durante el invierno, la cantidad de alperujo utilizada en el proceso es de 11 toneladas por día, mientras que en verano se reduce a 10 toneladas por día. Para asegurar la capacidad adecuada de la balsa de pre-almacenaje, se tomará como referencia la mayor cantidad de alperujo producida, es decir, la de invierno (11 toneladas por día).

Debido a que la campaña del alperujo abarca un periodo de 6 meses (180 días), se desea garantizar un tiempo de seguridad de servicio de 180 días, lo que implica que la balsa debe tener la capacidad de almacenar suficiente alperujo para mantener el proceso de digestión anaerobia en funcionamiento durante seis meses continuos, independientemente de la variabilidad en la producción o entrega del alperujo. Durante la campaña, la producción de alperujo puede ser más alta, y la disponibilidad debe estar garantizada para cubrir todo el año. Diseñar la balsa con un tiempo de seguridad de 180 días asegura un margen suficiente para cubrir estas variaciones y evitar interrupciones en el proceso de producción de biogás.

Dicha balsa tendrá una capacidad de almacenaje que sigue la siguiente fórmula:

$$C_{almacenaje} = Q \cdot t$$

Donde:

$C_{almacenaje}$: Capacidad de almacenaje de la balsa (to)

Q: caudal de alperujo introducido en el proceso (to/día)

t: tiempo de seguridad (días)

$$C_{almacenaje} = 11 \cdot 180 = 1980 \text{ to}$$

La densidad del alperujo es de 0,89 kg/l, ó de 0,89 to/m³⁴. Utilizando la siguiente ecuación, se calcula el volumen de la balsa.

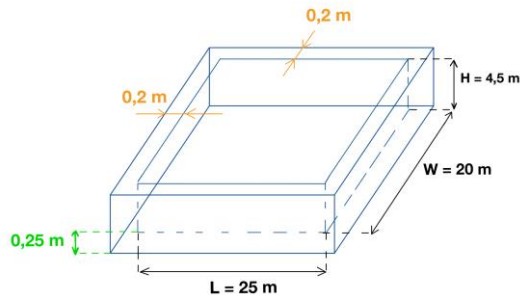
$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$0,89 = \frac{1.980}{\text{volumen}}$$

$$\text{Volumen} = 2.224,72 \text{ m}^3$$

La balsa de pre-almacenamiento para el alperujo tendrá un volumen de 2.224,72 m³. Esta balsa será construida de hormigón armado, asegurando la durabilidad y resistencia necesarias para manejar el alperujo, que tiene una humedad del 85%.

⁴ Cinco Olivas. (2024). El alpechín, el orujo y el alperujo. La densidad del alperujo es de 0,89 kg/l.



La balsa tendrá forma tetraédrica, lo que facilita su construcción y el manejo del material. Se escogerá una longitud de 25 m y un ancho de 20m, y por tanto despejando de la siguiente ecuación se calcula altura.

$$V = L \cdot W \cdot H$$

Donde:

V = volumen de la balsa.

L = longitud de la balsa.

W = ancho de la balsa.

H = altura de la balsa.

$$2.224,72 = 25 \cdot 20 \cdot H$$

$$H = 4,45 \text{ m}$$

Para simplificar la construcción y por seguridad, se redondeará la altura a 4,5 metros.

Para calcular la cantidad de hormigón que necesitaremos para poder construir dicha balsa, se fija el grosor de las paredes a 20 cm. El volumen de hormigón necesario se calcula por diferencia de volúmenes mediante la siguiente ecuación:

$$V = L \cdot W \cdot H - l \cdot w \cdot h = 25,4 \cdot 20,4 \cdot 4,5 - 25 \cdot 20 \cdot 4,5 = 81,72 \text{ m}^3$$

Además, se calcula el volumen de la base, que también estará hecha de hormigón armado. Dicha base, tiene una altura de 0,25 m, por tanto, su volumen se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$V = 25,4 \cdot 20,4 \cdot 0,25 = 129,54 \text{ m}^3$$

Por tanto, en total se necesitan 211,26 m³ de hormigón para construir la balsa de prealmacenaje del alperujo.

2.1.9.2 Balsa de pre-almacenaje para los lodos de EDARI de empresas cítricas

Los lodos de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Industriales (EDARI) de empresas cítricas son residuos orgánicos concentrados que resultan de la separación física de las aguas del proceso de producción. Estos lodos están compuestos por restos sólidos orgánicos provenientes de empresas de procesamiento de frutas, incluyendo piezas de fruta descartadas, cáscaras, pieles y pulpa. En el proceso de exprimido de naranjas y la producción de zumos y batidos, se generan estos residuos que no pueden ser vertidos directamente a las alcantarillas debido a su alta carga orgánica.

En las plantas de tratamiento, los lodos son separados en una centrífuga en dos fases: una fase líquida y una fase sólida. La fase sólida, que contiene la mayor parte de la carga orgánica, es transportada a la planta de biogás para su tratamiento, mientras que la fase líquida se depura hasta cumplir con los parámetros requeridos para su vertido a las alcantarillas.

Dado que los lodos de EDARI de empresas cítricas tienen una humedad del 75%, es necesario almacenarlos en balsas específicas para evitar problemas de escurrimiento y garantizar un manejo adecuado. Por tanto, la materia sólida que llega a la planta es depositada en balsas de pre-almacenaje. Estas balsas también se utilizan para otros sustratos sólidos, como los lodos de EDARI de empresas cárnicas y el alperujo.

Posteriormente, estos sustratos se cargan en una tolva de alimentación de material seco, donde un tornillo sin fin vertical los mezcla para obtener una masa homogénea, adecuada para el proceso de digestión anaeróbica.

Durante el invierno, se utilizan 18 toneladas por día en el proceso, mientras que en verano esta cantidad aumenta a 19 toneladas por día. Por esta razón, se dimensionará la balsa de pre-almacenaje considerando la mayor cantidad de lodos producida, es decir, la de verano, para asegurar que haya suficiente capacidad tanto en invierno como en verano, evitando riesgos de desbordamiento o falta de espacio.

Además, se establecerá un tiempo de seguridad de servicio de 15 días para los lodos de EDARI de empresas cítricas. Esto implica que la balsa debe ser capaz de almacenar suficiente lodo para mantener el proceso de producción de biogás en funcionamiento continuo durante 15 días, incluso en caso de interrupciones temporales en el suministro. Este tiempo de seguridad asegura la continuidad y eficiencia del proceso, proporcionando un margen de seguridad adecuado para la operación de la planta.

Dicha balsa tendrá una capacidad de almacenaje que sigue la siguiente fórmula:

$$C_{almacenaje} = Q \cdot t$$

Donde:

$C_{almacenaje}$: Capacidad de almacenaje de la balsa (to)

Q: caudal de lodos de empresas cítricas introducido en el proceso (to/día)

t: tiempo de seguridad (días)

$$C_{almacenaje} = 19 \cdot 15 = 285 \text{ to}$$

La densidad de los lodos de empresas cítricas es de 1.09 kg/l, ó de 1.09 to/m³.

Utilizando la siguiente ecuación, se calcula el volumen de la balsa.

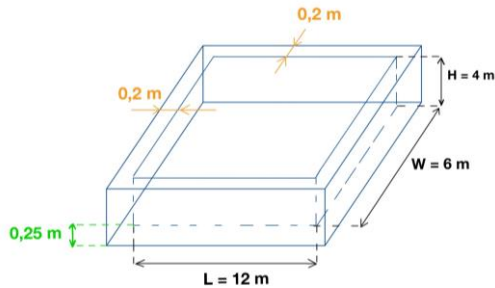
$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$1.09 = \frac{285}{\text{volumen}}$$

$$\text{Volumen} = 261,47 \text{ m}^3$$

La balsa de pre-almacenamiento para los lodos de EDARI de empresas cítricas tendrá un volumen de 261,47 m³. Esta balsa será construida de hormigón armado, asegurando la durabilidad y resistencia necesarias para manejar los lodos, que tienen un alto contenido de materia orgánica.

La balsa tendrá forma tetraédrica, lo que facilita tanto su construcción como el



manejo del material. Se han elegido unas dimensiones de 12 metros de longitud y 6 metros de ancho. Para calcular la altura, utilizamos la siguiente ecuación:

$$V = L \cdot W \cdot H$$

Donde:

V = volumen de la balsa.

L = longitud de la balsa.

W = ancho de la balsa.

H = altura de la balsa.

$$261,47 = 12 \cdot 6 \cdot H$$

$$H = 3,63\text{ m}$$

Para simplificar la construcción y por seguridad, se redondeará la altura a 4 metros

Para calcular la cantidad de hormigón que necesitaremos para poder construir dicha balsa, se fija el grosor de las paredes a 20 cm. El volumen de hormigón necesario se calcula por diferencia de volúmenes mediante la siguiente ecuación:

$$V = L \cdot W \cdot H - l \cdot w \cdot h = 12,4 \cdot 6,4 \cdot 4 - 12 \cdot 6 \cdot 4 = 29,44\text{ m}^3$$

Además, se calcula el volumen de la base, que también estará hecha de hormigón armado. Dicha base, tiene una altura de 0,25 m, por tanto, su volumen se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$V = 12,4 \cdot 6,4 \cdot 0,25 = 19,84\text{ m}^3$$

Por tanto, en total se necesitan $49,28\text{ m}^3$ de hormigón para construir la balsa de almacenamiento del alperujo.

2.1.9.3 Balsa de pre-almacenaje para los lodos de EDARI de empresas cárnicas

Los lodos de Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales Industriales (EDARI) de empresas cárnicas son residuos orgánicos concentrados, obtenidos a partir de la separación física de las aguas utilizadas en los procesos de matanza y procesamiento de animales. Estos lodos contienen restos sólidos orgánicos provenientes de mataderos, incluyendo partes grasas y restos cárnicos. En un matadero, las partes del animal que se descartan generan residuos, y las zonas de trabajo se ensucian considerablemente. Estos restos se llevan a las plantas de biogás para su tratamiento.

Una vez que los camiones transportan estos lodos semisólidos a la planta, se depositan en balsas de pre-almacenaje, ya que estos contienen una humedad del 75% y no se pueden almacenar sobre una solera ya que son muy escurridizos. Estas balsas también se utilizan para otros sustratos sólidos, como los lodos de EDARI de empresas cítricas y el alperujo. Posteriormente, estos sustratos se cargan en una tolva de alimentación de material seco, donde un tornillo sin fin vertical los mezcla para obtener una masa homogénea, adecuada para el proceso de digestión anaeróbica.

En invierno, la cantidad de lodos de empresas cárnicas utilizada en el proceso es de 13 toneladas por día mientras que en verano es de 14 toneladas por día. Se utilizará la cantidad mayor para diseñar la balsa, la cantidad de verano de 14 toneladas/día.

Para dimensionar la balsa de pre-almacenaje, se debe considerar un tiempo de seguridad de servicio de 15 días. Este tiempo de seguridad se refiere al período durante el cual la balsa debe ser capaz de abastecer al digestor sin necesidad de recibir nuevos suministros de lodos. Este margen es crucial para asegurar la continuidad del proceso de digestión anaerobia, incluso en caso de interrupciones temporales en el suministro de lodos debido a problemas logísticos o técnicos.

Dicha balsa tendrá una capacidad de almacenaje que sigue la siguiente fórmula:

$$C_{almacenaje} = Q \cdot t$$

Donde:

$C_{almacenaje}$: Capacidad de almacenaje de la balsa (to)

Q: caudal de lodos de empresas cárnicas introducido en el proceso (to/día)

t: tiempo de seguridad.

$$C_{almacenaje} = 14 \cdot 15 = 210 \text{ to}$$

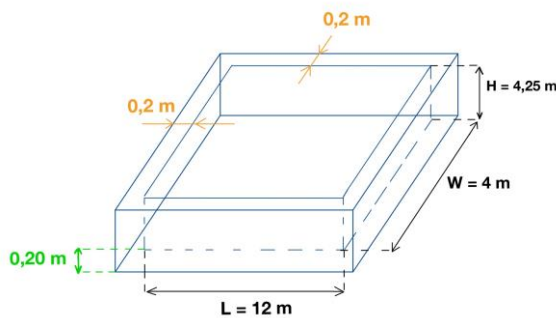
La densidad de los lodos de empresas cítricas es de 1.05 kg/l, ó de 1.05 to/m³. Utilizando la siguiente ecuación, se calcula el volumen de la balsa.

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$1.05 = \frac{210}{\text{volumen}}$$

$$\text{Volumen} = 200 \text{ m}^3$$

La balsa de pre-almacenamiento para los lodos de EDARI de empresas cárnicas tendrá un volumen de 200 m³. Esta balsa será construida de hormigón armado, asegurando la durabilidad y resistencia necesarias para manejar los lodos, que tienen un alto contenido de materia orgánica.



La balsa tendrá forma tetraédrica, lo que facilita tanto su construcción como el manejo del material. Se han elegido unas dimensiones de 12 metros de longitud y 4 metros de ancho. Para calcular la altura, utilizamos la siguiente ecuación:

$$V = L \cdot W \cdot H$$

Donde:

V = volumen de la balsa.

L = longitud de la balsa.

W = ancho de la balsa.

H = altura de la balsa.

$$200 = 12 \cdot 4 \cdot H$$

$$H = 4,17 \text{ m}$$

Para simplificar la construcción y por seguridad, se redondeará la altura a 4,25 metros.

Para calcular la cantidad de hormigón que necesitaremos para poder construir dicha balsa, se fija el grosor de las paredes a 20 cm. El volumen de hormigón necesario se calcula por diferencia de volúmenes mediante la siguiente ecuación:

$$V = L \cdot W \cdot H - l \cdot w \cdot h = 12,4 \cdot 4,4 \cdot 4,25 - 12 \cdot 4 \cdot 4,25 = 27,88 \text{ m}^3$$

Además, se calcula el volumen de la base, que también estará hecha de hormigón armado. Dicha base, tiene una altura de 0,20 m, por tanto, su volumen se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$V = 12,4 \cdot 4,4 \cdot 0,20 = 10,912 \text{ m}^3$$

En total se necesitan 38,79 m³ de hormigón para construir la balsa de pre-almacenaje del alperujo.

2.1.10 DIGESTOR

El digestor es el corazón de una planta de biogás, donde ocurre la digestión anaeróbica, un proceso biológico en el que microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno para producir biogás, compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono. Este biogás se puede utilizar como fuente de energía renovable.

En nuestra planta, el digestor está diseñado para recibir y procesar una variedad de sustratos orgánicos tanto líquidos como sólidos. Los sustratos líquidos, como el purín de cerdo, se bombean directamente al digestor, mientras que los sustratos sólidos, como los lodos de EDARI de empresas cítricas y cárnicas, así como el alperujo, son pretratados y mezclados en tolvas de alimentación para formar una masa homogénea antes de ser introducidos en el digestor.

Para diseñar eficientemente el digestor, es crucial conocer el tiempo de retención hidráulico (TRH) de los sustratos, que es el tiempo que estos materiales permanecen en el digestor para asegurar su completa degradación y la máxima producción de biogás. El TRH está relacionado con el volumen del digestor y la velocidad de carga orgánica mediante la siguiente ecuación:

$$THR = \frac{V_R}{V}$$

Donde:

THR = Tiempo de retención hidráulica (días).

V_R = Volumen del digestor (m³).

V = Velocidad de carga orgánica (m³/día).

En la Tabla 9, se detalla el tiempo de retención hidráulica para cada materia prima.

<i>Materias primas</i>	<i>Tiempo de retención hidráulico (TRH)</i>
Lodos de EDARI de empresas cítricas	30-40
Lodos de EDARI de empresas cárnicas	25-35
Alperujo	35-45

Tabla 9: Tiempo de retención hidráulico de cada materia prima (Fuente: Industria, Elaboración: Propia)

Para asegurar que todos los sustratos se degraden por completo y maximicen la producción de biogás, se ha seleccionado un tiempo de retención hidráulico de 35 días. Este valor se ha elegido para cumplir con los requisitos del sustrato con el tiempo de retención más prolongado, que es el alperujo.

Es importante destacar que, aunque el purín de cerdo es uno de los sustratos procesados en el digestor, no es el factor limitante al determinar el tiempo de retención hidráulico. Esto se debe a que el purín solo contiene un 5% de materia sólida, contribuyendo mínimamente a la producción de biogás. Sin embargo, su principal aporte es proporcionar la humedad necesaria para el proceso de digestión anaeróbica húmeda.

Durante verano, refiriéndonos a la Tabla 7, la planta recibe 68 toneladas al día de materia prima total, mientras que, en invierno, refiriéndonos a la Tabla 6, se reciben 66 toneladas al día. Se dimensionará el digestor usando la cantidad mayor de materia prima que entrará en la planta para asegurarnos que el sistema pueda manejar las variaciones estacionales de manera eficiente, sin comprometer la operación, seguridad ni el rendimiento de la planta.

Utilizando la ecuación, el digestor tendrá un volumen de:

$$THR = \frac{V_R}{V}$$

$$35 = \frac{V_R}{68}$$

$$V_R = 2.380 \text{ m}^3$$

Éste es un depósito de hormigón armado, en forma de cilindro con un diámetro de 23 metros, por consejo y experiencia de otras plantas.

Al ser un cilindro, y fijando el dato del diámetro, se puede calcular la altura del depósito, despejando de la siguiente ecuación:

$$V_R = \pi \cdot r^2 \cdot H$$
$$2380 = \pi \cdot 11,5^2 \cdot H$$
$$H = 5,73 \text{ m}$$

Siguiendo un criterio de simplicidad de obra la altura se fija en $H = 5,75 \text{ m}$

Por razones de seguridad y para estar previstos para mayor carga de sustrato, se deja una altura libre de 50 cm generando un volumen total de:

$$V_R = \pi \cdot (11,5)^2 \cdot 5,75 + \pi \cdot (11,5)^2 \cdot 0,5 = 2.596,73 \text{ m}^3$$

Resultando un volumen total del cilindro del digestor de $2.596,73 \text{ m}^3$, aunque la masa de la materia prima solo ocupe 2.380 m^3 .

El espacio libre será ocupado por el biogás que emite la materia a degradar durante el proceso de digestión anaerobia húmeda hasta su extracción.

Por tanto, el digestor es un tanque circular, de hormigón armado de 23 metros de diámetro y 6,25 metros de altura, con una cubierta de madera. El volumen neto de almacenaje es de 2.380 m^3 . Este incluye:

- Aislamiento térmico de poliuretano
- Revestimiento externo de aluminio
- Estructura de cubierta de madera
- Sistema de calefacción en paredes y suelo mediante tuberías empotradas.
- Un mezclador de palas axial.
- Dos mezcladores sumergibles.
- Doble cubierta de plástico.
- Dispositivos de seguridad (Valvulería de presión)
- Sensores y reguladores de llenado, presión y temperatura entre otros.

2.1.11 DIGESTATO

Para poder dimensionar tanto el depósito para el digestato sólido como el depósito para digestato líquido es necesario hacer referencia a ciertas palabras clave:

- **Humedad:** Se refiere a la parte húmeda de la materia prima. Es lo contrario a la materia seca y ambas se relacionan mediante la siguiente ecuación:
$$\text{Materia seca} = 1 - \text{Humedad}$$
- **Materia seca:** Es la parte seca de la materia prima. La materia seca está compuesta por materia orgánica (a su vez compuesta por materia orgánica **degradada** y materia orgánica **no degradada**) y sustancias inertes.
 - **Sustancias Inertes:** Las sustancias inertes son aquellas que no se descomponen ni contribuyen a la producción de biogás, como, por ejemplo, arena y piedras, restos de metales etc.
 - **Materia Orgánica** La materia orgánica es aquella que tiene el potencial de descomponerse mediante el de digestión anaeróbica. Sin embargo, durante este proceso, no toda la materia orgánica se descompone completamente. Esto se debe a que la digestión anaeróbica se interrumpe antes de que las materias primas lleguen a descomponerse al 100%.

El proceso se detiene en un punto donde la producción de biogás se reduce tanto que no es económicamente viable continuar. En términos prácticos, a partir de experiencias y consejos de otras plantas de biogás, se sabe que aproximadamente el 60% de la materia orgánica se descompone y se convierte en biogás, mientras que el 40% restante no se descompone y se convierte en digestato. el cual debe ser almacenado para su posterior uso como fertilizante. Este digestato, compuesto principalmente por la materia

orgánica no degradada, contiene nutrientes que pueden ser beneficiosos para la agricultura.

- **Digestato:** También conocido como materia orgánica no degradada, es la parte de la materia orgánica que no se descompone en el proceso de digestión anaeróbica y, por lo tanto, no se convierte en biogás. Este material debe ser almacenado para su posterior uso como fertilizante.

En la Ilustración 15 se muestra un diagrama de árbol que ayuda a entender mejor esta nomenclatura y la relación entre estos términos.

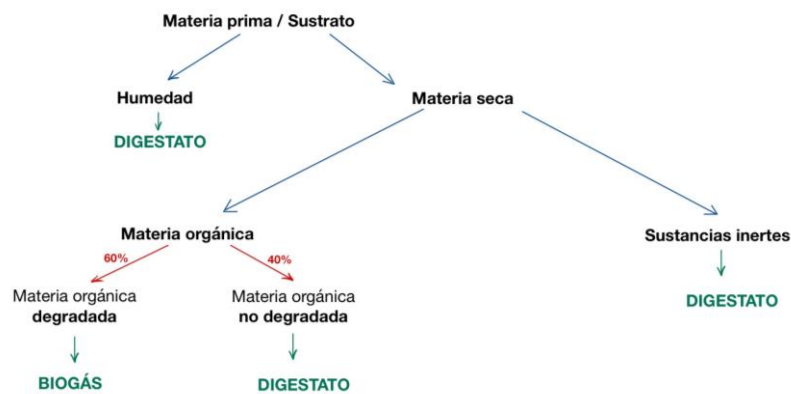


Ilustración 15: Diagrama de árbol de la materia prima y sus componentes (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

En el proceso de digestión anaeróbica todo lo que no se degrada pasa a ser digestato. Esto incluye las sustancias inertes, la humedad y la materia orgánica no degradada.

En la Tabla 10 se muestran los porcentajes de humedad y materia seca de cada sustrato. Además, se especifica el porcentaje de materia orgánica que se degrada respecto a la materia seca y el porcentaje de materia orgánica que no se degrada, también conocida como sustancias inertes.

	<i>Humedad</i> (%)	<i>Materia Seca</i> (%)	<i>Materia orgánica</i> (%)	<i>Sustancias Inertes</i> (%)
Purín	95	5	74	26
Lodos de EDARI de empresas cítricas	75	25	87,5	12,5
Alperujo	85	15	95	5
Lodos de EDARI de empresas cárnicas	75	25	84	16

Tabla 10: Porcentajes relevantes sobre las distintas materias primas (Fuente: Curso Biogás, Elaboración: Propia)

Tanto la materia orgánica como las sustancias inertes son porcentajes respecto a la materia seca. A continuación, se presenta un ejemplo práctico utilizando el purín:

En el proceso de digestión anaeróbica se introducen 25 toneladas de purín, esto equivale a la cantidad utilizada en el periodo de verano. De estas 25 toneladas calculamos los siguientes parámetros según la información de la Tabla 10:

- **Humedad:** El 95% de las 25 toneladas de purín corresponde a la humedad. Por tanto $95\% \cdot 25 \text{ toneladas} = 23,75 \text{ to de humedad}$.
- **Materia Seca:** La materia seca es el 5% de las 25 toneladas de purín. Por tanto $5\% \cdot 25 \text{ toneladas} = 1,25 \text{ toneladas de materia seca}$
 - o **Materia orgánica:** Según la tabla, el 74% de la materia seca equivale a materia orgánica (la materia que puede llegar a descomponerse). Por tanto, la materia orgánica se calcula como $74\% \cdot 1,25 \text{ toneladas de materia seca} = 0,925 \text{ toneladas de materia orgánica}$.
 - **Materia orgánica degradada:** Como se mencionó anteriormente, no toda la materia orgánica se degrada debido a que el proceso de digestión anaeróbica se detiene antes de que se complete la descomposición total. Basado en la experiencia de otras plantas, se estima que el 60% de la materia orgánica se degrada, mientras que el 40% restante no lo hace. La cantidad de materia orgánica degradada se calcula como $60\% \cdot 0,925 \text{ to de materia orgánica} = 0,555 \text{ toneladas}$

de materia orgánica degradada. Estas son las únicas toneladas de purín que producirán biogás.

- **Materia orgánica no degradada:** El 40% de la materia orgánica no se degrada y, por lo tanto, se convierte en digestato. La materia orgánica no degradada se calcula como $40\% \cdot 0,925 = 0,37$ toneladas de materia orgánica no degradada.
- **Sustancias Inertes:** Refiriéndonos a la Tabla 10, el 26% de la materia seca son sustancias inertes. Por tanto, la cantidad de sustancias inertes se calcula como: $26\% \cdot 1,25$ toneladas de materia seca = 0,325 toneladas de sustancias inertes.

Para entender mejor este ejemplo, se hace uso de la Ilustración 16, la cual ayuda a visualizar qué parte de la materia prima inicial se convierte en digestato y qué parte se utiliza para producir biogás.

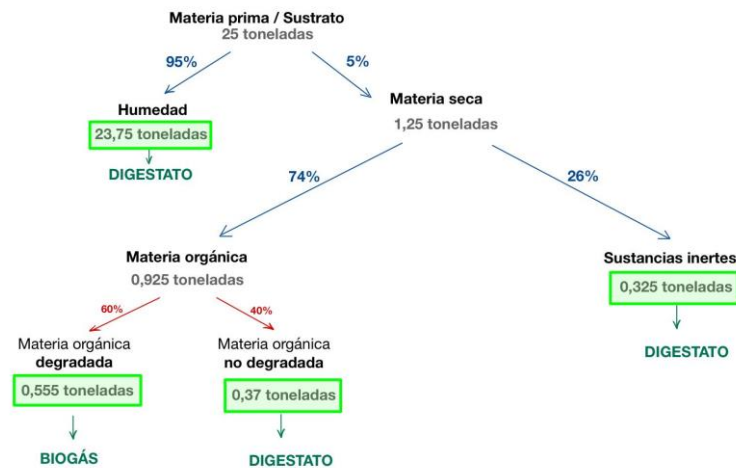


Ilustración 16: Cantidad de digestato y biogás por parte del purín (Fuente: Curso Biogás y Propia, Elaboración: Propia)

Siguiendo el mismo procedimiento que en el ejemplo anterior, se calcula la cantidad de digestato y de toneladas destinadas a la producción de biogás para los otros tres sustratos.

Se ha seleccionado la mayor cantidad de materia prima de cada sustrato, entre verano e invierno, para asegurar que las dimensiones del depósito de digestato líquido y la solera para el digestato sólido sean adecuadas para manejar la máxima carga posible.

Finalmente, se llega a la siguiente Tabla 11, que indica las toneladas de humedad, de materia seca, de materia orgánica y otros parámetros relevantes.

	<i>Cantidad (to)</i>	<i>Humedad (to)</i>	<i>Mat Seca (to)</i>	<i>Mat org (to)</i>	<i>Sust Inertes (to)</i>	<i>Mat org degradada (to)</i>	<i>Mat org no degradada (to)</i>
Purín	25	23,75	1,25	0,925	0,325	0,555	0,37
Cítricos	19	14,25	4,75	4,156	0,594	2,494	1,663
Alperujo	11	9,35	1,65	1,568	0,083	0,941	0,627
Cárnicos	14	10,5	3,5	2,94	0,560	1,764	1,176
Total	69	57,85			1,561	5,753	3,836

Tabla 11: Cantidad de digestato total y de toneladas destinadas a la producción de biogás (Fuente: Curso Biogás, Elaboración: Propia)

Las casillas coloreadas en verde representan las toneladas de digestato, mientras que la casilla en morado indica las toneladas que se destinan a la producción de biogás y, por lo tanto, "desaparecen" de la masa inicial de la materia prima.

Por tanto, de las 69 toneladas introducidas en el proceso de digestión anaeróbica, 63,247 toneladas se convierten en digestato (suma de las casillas en verde), mientras que el resto, 5,753 toneladas, se destinan a la producción de biogás. En consecuencia, el 8,34% de la materia prima entrante se transforma en biogás, mientras que el 91,66% se convierte en digestato.

La máquina encargada de separar el digestato en digestato líquido y digestato sólido es un separador por presión helicoidal. Este separador tiene un rendimiento específico: el 90% del digestato que ingresa en el separador se convierte en digestato líquido, mientras que el 10% restante se transforma en digestato sólido, según consejo y experiencia de otras plantas.

Finalmente, obtenemos 6,325 toneladas de digestato sólido y 59,922 toneladas de digestato líquido.

2.1.11.1 Depósito para la fracción líquida del digestato

Tras la digestión anaeróbica, obtenemos 59,922 toneladas de digestato líquido al día, los cuales habrá que almacenar en un depósito para su posterior uso como fertilizante.

Utilizando la siguiente ecuación obtenemos la capacidad de almacenaje del depósito:

$$C_{almacenaje} = Q \cdot t$$

Donde

$C_{almacenaje}$: Capacidad de almacenaje del digestato líquido (to)

Q: caudal de digestato líquido al día (to/día)

t : tiempo de seguridad

El tiempo de seguridad será el tiempo en el que debemos almacenar el digestato ya que durante este periodo no se puede abonar.

La normativa sobre el calendario de fertilización, específicamente el Real Decreto 1051/2022 de 27 de diciembre, determina normas para la nutrición en los sueltos agrarios. Esta normativa establece un calendario de abono que debe ser respetado para garantizar una correcta gestión del fertilizante y evitar problemas ambientales, como la contaminación de aguas subterráneas y superficiales. Por ejemplo, en el caso específico de cultivos como el olivo, existe un periodo de 6 meses durante el cual no se puede realizar la aplicación del digestato como abono. Este periodo incluye los meses de recogida de la cosecha, durante los cuales se deben evitar las actividades de abonado para no interferir con el proceso de recolección y para respetar las fases fenológicas del cultivo.

Sin embargo, esta normativa no nos obliga a almacenar el digestato durante ese tiempo, ya que podemos destinarlo a distintos tipos de cultivos que precisen de necesidades en épocas distintas del año. Para asegurar un almacenaje óptimo, se decide un tiempo de seguridad de 4 meses.

Resolviendo la ecuación numéricamente:

$$C_{almacenaje} = 56,922 \cdot 120 = 6.830,64 \text{ to}$$

Una vez obtenida la capacidad de almacenaje del depósito en toneladas, pasamos a calcular el volumen mediante la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{\textit{masa}}{\textit{volumen}}$$

El digestato líquido resultante del proceso de digestión anaeróbica tiene un alto contenido de humedad, que puede variar entre 85% y 95%. Con una humedad del 87%, el digestato es bastante similar al agua en términos de su densidad. Dado que el agua tiene una densidad de 1 kg/L, se puede hacer una aproximación práctica y sencilla usando esta densidad para el digestato líquido.

Por tanto:

$$1 = \frac{6.830,64}{\textit{Volumen}}$$

$$\textit{Volumen} = 6.830,64 \text{ m}^3$$

El volumen del depósito donde se almacenará la fracción líquida del digestato será de 6.830,64 m³.

Dicho tanque es cilíndrico, fijando su diámetro a 40 metros, la altura del tanque se puede calcular usando la siguiente ecuación:

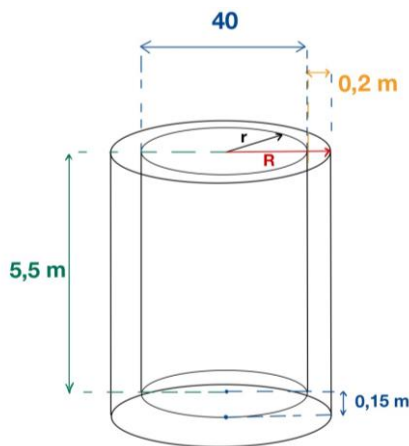
$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H$$

$$6.830,64 = \pi \cdot 20^2 \cdot H$$

$$H = 5,436 \text{ m}$$

Por simplicidad se fija la altura del depósito en 5,5 metros.

Para determinar la cantidad de hormigón armado necesario para la construcción del depósito, se fija el grosor de las paredes a 20 cm. El volumen de hormigón se calcula utilizando la siguiente ecuación, que considera tanto el volumen del tanque externo como el interno:



Por tanto, el volumen de hormigón que se necesita se calcula por diferencia de volúmenes mediante la siguiente ecuación:

$$V = \pi \cdot R^2 \cdot H - \pi \cdot r^2 \cdot h$$

Donde:

R = radio externo del depósito

r = radio interno del depósito

H y h= altura del depósito

$$V = \pi \cdot 20,2^2 \cdot 5,5 - \pi \cdot 20^2 \cdot 5,5 = 138,921 \text{ m}^3$$

Además, se calcula el volumen de la base, que también estará hecha de hormigón armado. Dicha base, tiene una altura de 0,15 m, por tanto, su volumen se calcula siguiendo la siguiente ecuación:

$$V = \pi \cdot 20,2^2 \cdot 0,15 = 192,284 \text{ m}^3$$

Por tanto, para la construcción del depósito de digestato líquido, se necesitarán aproximadamente 331,2 m³ de hormigón armado

2.1.11.2 Solera para la fracción sólida del digestato

Al finalizar el proceso de digestión anaeróbica, obtenemos 6,325 toneladas diarias de digestato sólido, las cuales deben ser almacenadas en una solera de hormigón para su posterior uso como fertilizante.

Para dimensionar adecuadamente la solera, es necesario determinar su capacidad de almacenamiento mediante la siguiente ecuación:

$$C_{almacenaje} = Q \cdot t$$

Donde

$C_{almacenaje}$: Capacidad de almacenaje del digestato líquido (to)

Q: caudal de digestato líquido al día (to/día)

t : tiempo de seguridad

Como se ha mencionado en el diseño del depósito para el digestato líquido, se utilizará un tiempo de seguridad de 4 meses (120 días), ya que durante este período no se podrá aplicar el fertilizante y será necesario almacenar el digestato hasta su uso posterior.

Por lo tanto, la capacidad de la solera se calcula de la siguiente manera:

$$C_{almacenaje} = 6,325 \cdot 120 = 759 \text{ to}$$

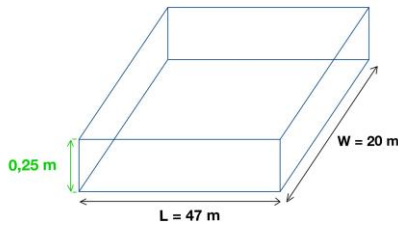
Dado que el digestato sólido tiene una densidad de 0,6 kg/l (equivalente a 0,6 toneladas/m³), el volumen de almacenamiento se calcula utilizando la ecuación de densidad:

$$\rho = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$0,6 = \frac{759}{\text{volumen}}$$

$$\text{Volumen} = 1.265 \text{ m}^3$$

Para el diseño de la solera, se han seleccionado dimensiones de 47 m de longitud por 20 m de ancho, con una altura de 0,25 m. Esto asegura una capacidad de almacenamiento adecuada y permite una gestión eficiente del digestato sólido.



Por lo tanto, el volumen de hormigón necesario para construir la solera se calcula como sigue:

$$V_{\text{hormigón}} = 47 \cdot 20 \cdot 0,25 = 235 \text{ m}^3$$

2.1.12 MOTOR

El biogás producido en el digestor es capturado y almacenado temporalmente en un gasómetro. Este equipo permite equilibrar la producción de biogás con el consumo del motor generador, asegurando un suministro continuo. El gasómetro está equipado con sensores de presión y sistemas de seguridad para monitorizar y regular la cantidad de biogás almacenado.

Antes de ingresar al motor, el biogás pasa por un proceso de desulfuración para eliminar el sulfuro de hidrógeno (H₂S), un gas corrosivo que puede dañar los componentes internos del motor. Además, el biogás se filtra para eliminar impurezas y partículas que puedan afectar el rendimiento del motor.

Una vez tratado, el biogás se transporta desde el gasómetro al motor generador a través de tuberías subterráneas de polietileno equipadas con todos los dispositivos necesarios de seguridad. Durante el transporte, el biogás se enfría y la humedad que contiene se condensa y se recoge en un foso para condensados. Desde allí, el condensado es bombeado al almacén de digestato.

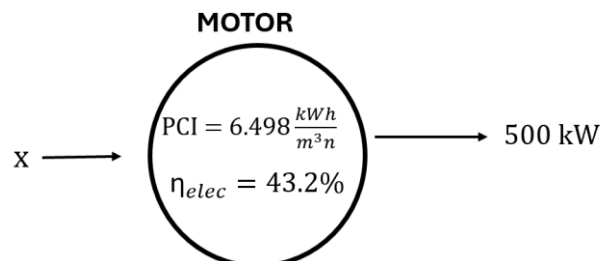
El grupo escogido para la cogeneración de energía eléctrica a partir de biogás es de la marca MWM, en concreto, el modelo MWM TCG 2016V12C cuyas características principales se detallan en la Tabla 12. La ficha técnica del motor se encuentra en el Anexo II.

<i>Tipo de Motor</i>	<i>TCG 2016 V12 C Colector de escape seco</i>
Nº de cilindros / disposición	12 V
Diámetro/Carrera	132,0/160,0 mm
Cilindrada	26,3 dm ³
Relación de compresión	15,0 : 1
Velocidad media del pistón	8,0 m/s
Potencia eléctrica	500 kW _{el}
Rendimiento mecánico	42,8%
Rendimiento eléctrico	43,2%
Rendimiento térmico	47,4%
<i>Alternador</i>	<i>Marelli MJB 400 LA4</i>
Voltaje / Frecuencia	400 V/ 50 Hz
Velocidad	1500 min ⁻¹
Rendimiento del alternador	96,60%

Tabla 12: Tabla de las características principales del grupo motor generador (Fuente: MWM, Elaboración: Propia).

Es importante no olvidar que el diseño de la planta se ha hecho partiendo del dato de la potencia eléctrica del motor, y mediante el análisis inverso del flujo de la operación, se ha determinado la cantidad de biogás necesaria para obtener los 500kW a la salida y, posteriormente, la cantidad de materia prima necesaria para conseguir esa producción de biogás.

Este cálculo se ha hecho teniendo en cuenta el poder calorífico inferior (PCI) del biogás además del rendimiento eléctrico del motor. La explicación más detallada se encuentra en el apartado “2.1.1 Diseño de la planta” de este documento.



El diagrama anteriormente mostrado resulta en la siguiente ecuación:

$$\eta_{elec} \cdot PCI_{biogás} \cdot x = \text{Potencia eléctrica}$$

Donde:

η_{elec} = Rendimiento eléctrico del motor.

$PCI_{biogás}$ = Poder calorífico inferior del biogás

x = cantidad biogás en m^3 /hora necesaria a la entrada del motor

$$0,432 \cdot 6,498 \frac{kWh}{m^3n} \cdot x = 500kWh$$

$$x = 178,12 m^3/h$$

La producción de biogás ‘objetivo’ es de 178,12 m^3 /hora.

El motor se adquirió del fabricante en el año 2024, con una potencia eléctrica inicial de 500 kW en condiciones pico. Sin embargo, en la práctica, el motor no operará siempre a su capacidad máxima. Se estima un factor de eficiencia del 90%, lo que significa que, en promedio, el motor producirá menos energía que su capacidad máxima teórica.

Además, a medida que transcurren los años, el motor sufre una pérdida de eficiencia debido al desgaste y deterioro, lo que resulta en una disminución anual de la energía producida del 0,5%.

La vida útil estimada del proyecto es de 30 años. En la Tabla 13 se muestra una estimación de la energía producida por la planta de biogás durante toda su vida útil, considerando el factor de eficiencia del 90% y la pérdida anual de eficiencia del 0,5%. Dado que se prevé que la planta comenzará a operar en 2026, la tabla de energía producida se inicia en ese año.

<i>Año</i>	<i>Energía producida (MWh)</i>	<i>Año</i>	<i>Energía producida (MWh)</i>
2026	3.942.000	2041	3.656.477
2027	3.922.290	2042	3.638.194
2028	3.902.679	2043	3.620.004
2029	3.883.165	2044	3.601.904
2030	3.863.749	2045	3.583.894

2031	3.844.431	2046	3.565.975
2032	3.825.208	2047	3.548.145
2033	3.806.082	2048	3.530.404
2034	3.787.052	2049	3.512.752
2035	3.768.117	2050	3.495.188
2036	3.749.276	2051	3.477.712
2037	3.730.530	2052	3.460.324
2038	3.711.877	2053	3.443.022
2039	3.693.318	2054	3.425.807
2040	3.674.851	2055	3.408.678

Tabla 13: Estimación de Energía producida en 30 años (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

2.1.13 EQUIPOS

2.1.14 CENTRO DE TRANSFORMACIÓN

Para garantizar la integración adecuada de la energía eléctrica generada a partir del biogás en la red eléctrica, es necesario contar con un centro de transformación que eleve la tensión de salida del generador. El motor generador MWM TCG 2016V12C produce energía eléctrica a una tensión de 400 V. Sin embargo, la conexión a la subestación eléctrica MONCOFAR T1, operada por I-DE Grupo Iberdrola, requiere una tensión de 20 kV. Por lo tanto, un centro de transformación es esencial para convertir la tensión de 400 V a los 20 kV necesarios.

Se ha seleccionado un transformador del fabricante HITACHI, cuyas especificaciones y características principales se presentan en la Tabla 14.

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Fabricante	HITACHI
Modelo	Transformador de aceite, trifásico, 500kVA, AT 10.000D, BT 400y

Potencia nominal (kVA)	500
Líquido aislante	Aceite Mineral
Voltaje primario (V)	20.000
Tappings	+/- 10 x 1,5%
Voltaje secundario (V)	400
Nivel de aislamiento primario (kV)	LI 250 / AC 95 / Um 52
Nivel de aislamiento secundario (kV)	LI 170 / AC 70 / Um 36
Frecuencia	50
Número de fases	3
Grupo de conexión	Dyn11
Temperatura ambiente max/mensual/anual (°C)	40 / 30 / 20
Promedio del aumento máx temperatura (Aceite/Devanados)	60 / 65
Tratamiento en superficie	Pintura Color: RAL 7033-C3M ISO 12944
Normas	IEC 60076
Impedancia (%)	10 (tol. +/- 10%) @25.000kVA
Pérdidas sin carga (W)	-(tol.+0%) s/EcoDirectiva TIER2
Pérdidas en carga a 75°C (W)	-(tol.+0%) s/EcoDirectiva TIER 2
PEI (%)	99.700 (TIER 2)

Tabla 14: Características técnicas del Centro de Transformación (Fuente: HITACHI, Elaboración: Propia).

2.1.15 INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN.

El transporte de energía desde el motor hasta el centro de transformación se realiza a 400V como máximo, por tanto, hablamos de baja tensión al ser inferior a 1kV.

La instalación eléctrica de baja tensión es responsable de conectar el motor generador de biogás con el Centro de Transformación (CT), permitiendo la distribución eficiente de la energía generada. Esta línea de baja tensión se extiende internamente dentro de la planta de biogás, asegurando una conexión directa y segura entre la salida del motor generador y la entrada del transformador.

La producción eléctrica mediante el motor se realiza en corriente alterna y será posteriormente vertida en red.

1. Dimensionamiento del cableado en función de la corriente máxima transportada:

La sección del cableado será determinada de acuerdo con los criterios más restrictivos, que incluyen los siguientes aspectos:

- Corriente de cortocircuito: El cable debe soportar la corriente de cortocircuito sin sufrir daños.
- Corriente máxima permitida según el método de instalación: La capacidad de corriente depende del método de instalación utilizado, como en conductos, bandejas o enterrado.
- Caída de tensión máxima permisible: La caída de tensión a lo largo del cable debe mantenerse dentro de los límites aceptables para garantizar un suministro de energía estable y eficiente.

Las líneas de este circuito de Baja y Media Tensión en CA se realizarán de forma soterrada en toda su longitud a una profundidad de 80cm.

Para esta línea se va a utilizar un cableado del fabricante TopCable, concretamente el modelo POWERFLEX RV-K.

Las especificaciones más relevantes se muestran en la Tabla 15:

<i>Característica</i>	<i>Valor</i>
Conductor	Cobre electrolítico, clase 5 (flexible)
Aislamiento	Polietileno reticulado tipo DIX-3 según HD 603-1 y tipo XLPE según IEC 60502-1. La identificación normalizada del conductor aislado según HD 308 es: 3X Marrón + Negro + Gris
Cubierta exterior	PVC flexible tipo DMV-18 según HD 603 y tipo ST2 según IEC 60502-1 de color negro.

Tabla 15: Características del cableado a BT (CA) (Fuente: TopCable, Elaboración: Propia)

Las principales características de este cableado, descritas a continuación, lo hacen adecuado para el propósito previsto.

- BAJA TENSIÓN 0,6/1kV
- No propagación de la llama según UNE-EN 60332-1 e IEC 60332-1.
- Radio de curvatura: 5 x diámetro exterior.
- Resistencia a los impactos: AG2 Medio.
- Temperatura máxima del conductor: 90°C. Temperatura máxima en cortocircuito: 250°C (máximo 5s). Temperatura mínima de instalación y manipulación: 0°C (en la superficie del cable). Temperatura mínima de instalación y manipulación: 0°C (en la superficie del cable). Temperatura mínima de servicio: -40°C (estático con protección)
- Resistencia a los rayos ultravioleta: UNE 211605
- Resistencia a los ataques químicos: buena
- Certificados: AENOR, CE, RoHS, KEMA-KEUR, BUREAU VERITAS.

La sección del cableado se determina en el Anexo III con la normativa RAT publicada en el Real Decreto 223/2008 y con la norma internacional y IEC 60287-2-2.

La ficha técnica del conductor se encuentra en el Anexo IV.

2.1.16 INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE MEDIA TENSIÓN

La instalación eléctrica de media tensión se encarga de conectar la planta de biogás con la subestación eléctrica MONCOFAR T1, a través de la torre que se encuentra situada dentro de las instalaciones de la planta, permitiendo el vertido de la energía generada en la planta a la red. Esta línea opera a 20kV y se extiende externamente desde el Centro de Transformación (CT) de la planta hasta el punto de conexión en la torreta.

Dado que esta línea es externa a la planta de biogás, su dimensionamiento no se incluye en este proyecto y será tratado de manera independiente. La función principal de esta

instalación es asegurar una transferencia eficiente y segura de la energía producida, integrándola en la red eléctrica gestionada por I-DE Grupo Iberdrola.

2.1.17 ELEMENTOS DE TRANSPORTE Y CONEXIÓN

2.1.18 TRANSPORTE DE MATERIA PRIMA LÍQUIDA

Para transportar el purín de cerdo de cebo, que es la única materia prima líquida, se utiliza una tubería específica. Esta tubería lleva el purín desde el depósito de pre-almacenamiento hasta el digestor. La tubería está fabricada en acero inoxidable debido a su resistencia a la corrosión, lo que la hace ideal para manejar líquidos de origen animal que pueden ser corrosivos.

En cuanto a la materia prima sólida, que incluye lodos cárnicos, lodos cítricos y alperujo, un operario se encarga de trasladar estos materiales desde las balsas de pre-almacenaje hasta la tolva utilizando un tractor con pala. Desde la tolva, la materia prima sólida se carga automáticamente en el digestor, gestionado por un autómata programable. Este proceso garantiza que todos los sustratos necesarios lleguen al digestor de manera eficiente, optimizando la producción de biogás.

2.1.19 TRANSPORTE DE BIOGÁS

El biogás generado en el digestor se transporta a la unidad de cogeneración mediante una tubería de polietileno de alta densidad, diseñada específicamente para este propósito debido a su alta resistencia a la corrosión y durabilidad. Esta tubería subterránea está equipada con todos los dispositivos de seguridad necesarios para garantizar un transporte seguro del biogás a baja presión.

Durante el transporte del biogás, este se enfría y la humedad contenida se condensa. Para gestionar este condensado, se dispone de un foso para su recogida, desde donde es

bombeado al almacén de digestato. El biogás, libre de humedad, se dirige entonces a la unidad de cogeneración, donde se utiliza para alimentar un motor de combustión.

La unidad de cogeneración consiste en un grupo motor-generator marca MWM, modelo TCG 2016V12C. Este motor, alimentado por el biogás, acciona un alternador que genera electricidad. La electricidad producida puede ser utilizada directamente en la planta o vertida a la red eléctrica tras ser transformada en el centro de transformación. El proceso de cogeneración no solo produce electricidad, sino que también genera calor, el cual es recuperado a través de un intercambiador de placas para ser utilizado en el calentamiento del digestore, mejorando la eficiencia térmica del sistema

2.1.20 TRANSPORTE DE DIGESTATO

El digestato resultante del proceso de digestión anaeróbica se transporta mediante una tubería de polietileno al separador por presión helicoidal. Según la experiencia de otras plantas, esta maquinaria tiene una relación de separación de digestato líquido a sólido de 10:1. Es decir, del material que ingresa al separador, el 90% se convierte en digestato líquido y el 10% en digestato sólido.

El digestato sólido cae al suelo después de pasar por el separador, donde un empleado lo recoge con un tractor con pala y lo transporta a la solera para su almacenamiento. Por otro lado, el digestato líquido se lleva a través de una tubería hasta el depósito correspondiente, garantizando un manejo eficiente y organizado de los subproductos del proceso.

2.1.21 OBRA CIVIL

En la ubicación seleccionada para la construcción de la planta de biogás, el terreno se encuentra en estado natural, es decir, no presenta ninguna edificación. Sin embargo, en la

superficie de 9.258 m², se pueden observar diversos obstáculos como plantas, raíces y escombros.

Para asegurar un trazado óptimo y una construcción eficiente de la planta de biogás, será necesario llevar a cabo las siguientes tareas de obra civil:

1. Adecuación del terreno

El área destinada a la construcción de la planta de biogás es actualmente de tierra labrada y contiene diversas plantas y vegetación. Aunque el terreno es adecuado en términos de nivelación, es crucial eliminar cualquier obstáculo que pueda interferir con las operaciones de construcción y funcionamiento de la planta. Por lo tanto, será necesario realizar una tarea de limpieza para remover escombros, plantas, raíces y otros elementos que puedan obstaculizar el proceso de construcción.

La ubicación de la planta, con una altitud promedio de 16 metros, se encuentra en la provincia de Castellón. Según la topografía del área, no será necesario realizar movimientos de tierra a gran escala, ya que el terreno es mayormente plano y sin desniveles significativos.

Los movimientos de tierra que se requerirán se limitarán a las áreas donde se ubicarán las edificaciones principales, como los digestores, los tanques y balsas de pre-almacenamiento etc. Para estas instalaciones, será necesario llevar a cabo excavaciones profundas y trabajos de hormigonado para garantizar una base sólida y estable. Además, se deberán realizar zanjas para la instalación de tuberías y conexiones entre los distintos componentes de la planta. Estas actividades asegurarán que la infraestructura de la planta de biogás esté correctamente asentada y funcione de manera eficiente y segura.

2. Vallado Perimetral

Para garantizar la seguridad y protección de la planta de biogás, se instalará un vallado perimetral alrededor de toda la instalación. Este vallado servirá para evitar el acceso no autorizado, proteger los equipos y materiales, y asegurar un control adecuado de las operaciones dentro de la planta.

El acceso a la planta se realizará a través de la carretera nacional N-225, que se encuentra al sur de la ubicación de la planta. Habrá una única entrada grande, diseñada específicamente para permitir el paso de camiones que transportan los residuos necesarios para el funcionamiento de la planta.

La puerta de acceso será de apertura lateral, lo que facilita el paso de vehículos de gran tamaño. Esta entrada estará equipada con bastidores y paneles de acero galvanizado, proporcionando durabilidad y resistencia a las inclemencias del tiempo. La altura del portón será de aproximadamente 2,5 metros, mientras que el ancho será de 5 metros, lo que permitirá un acceso fluido y seguro tanto para camiones como para otros vehículos y personas que necesiten ingresar al recinto.

El vallado perimetral será de tipo cinético y tendrá 2,5 metros de altura. Este cerramiento cumplirá con los siguientes requisitos según la normativa medioambiental:

- Estará compuesto por un total de 25 hilos horizontales, creando espacios de 10 cm de altura entre cada hilo.
- Incluirá tantos hilos verticales como sea necesario para mantener una separación mínima de 15 cm entre ellos, formando rectángulos libres de 10x15 centímetros.
- No tendrá elementos cortantes o punzantes, garantizando la seguridad tanto de las personas como de la fauna local.

3. Edificaciones y otras instalaciones

A la entrada, se dispondrá de una instalación de pesaje de camiones, que consistirá en una báscula ubicada en el suelo, donde los camiones se situaran

encima a la entrada y a la salida de la planta para calcular por diferencia de pesos la cantidad de residuo que dejan en la misma.

Adicionalmente se cuentan con unos módulos prefabricados a modo de oficinas, detallados en el presupuesto.

Capítulo 3. EVALUACIÓN ECONÓMICA

3.1.1 CRONOGRAMA

La cronología total del proyecto de la instalación de una planta de biogás de 0,5MW tiene una duración de aproximadamente 19 meses, desde la evaluación del recurso disponible hasta el comienzo del uso de dicha planta.

A continuación, se muestran las actividades que tendrán lugar en el proyecto:

Fase 1: Planificación y Análisis

1. Evaluación del recurso disponible.
2. Identificación de potenciales ubicaciones, considerando factores como accesibilidad, proximidad a la materia prima y a una subestación eléctrica.
3. Evaluación de impacto ambiental.
4. Selección de la ubicación final.
5. Solicitud y obtención de permisos ambientales y de construcción.
6. Reuniones con autoridades locales.

Fase 2: Diseño

7. Desarrollo de un diseño preliminar.
8. Definición de la capacidad de la planta y principales componentes.
9. Elaboración de planos y especificaciones técnicas detalladas.
10. Selección de tecnología y equipos.
11. Evaluación de costos y presupuesto detallado.
12. Aprobación del diseño final por parte de las autoridades.

Fase 3: Contratación y Adquisiciones

13. Compra de terrenos

14. Licitación y selección de contratistas.
15. Negociación y firma de contratos.
16. Compra de equipos y materiales necesarios.

Fase 4: Construcción

17. Desbroce y adecuación del terreno.
18. Instalación de infraestructura (oficina)
19. Contratación de mano de obra para realizar replanteos.
20. Replanteos de la zona de excavación y movimiento de tierras.
21. Construcción de tanques digestores.
22. Instalación de tuberías y sistemas de manejo de residuos.
23. Construcción de edificios y estructuras auxiliares.
24. Instalaciones en depósitos y periféricos (sensores de temperatura, sistemas de agitación etc)
25. Instalación de generadores y sistemas eléctricos.
26. Instalación de sistemas de control y monitoreo.
27. Conexión de servicios públicos (agua, electricidad, etc.).
28. Revestimiento, techos y montaje electromecánico.
29. Instalación de cubiertas en digestores primarios y secundarios.

Fase 5: Pruebas y puesta en marcha

30. Verificación de la instalación y pruebas de funcionamiento.
31. Ajustes y calibración de equipos.
32. Formación del personal operativo en el manejo de la planta.
33. Desarrollo de manuales y protocolos operativos.
34. Inicio de operaciones en modo de prueba.
35. Resolución de problemas y ajustes finales.
36. Puesta en marcha biológica: calentar y llenar.

Actividad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
1. Evaluación del recurso disponible																			
2. Identificación de potenciales ubicaciones																			
3. Evaluación de impacto ambiental.																			
4. Selección de la ubicación final.																			
5. Solicitud y obtención de permisos ambientales y de construcción.																			
6. Reuniones con autoridades locales.																			
7. Desarrollo de un diseño preliminar.																			
8. Definición de la capacidad de la planta y principales componentes																			
9. Elaboración de planos y especificaciones técnicas detalladas.																			
10. Selección de tecnología y equipos.																			
11. Evaluación de costos y presupuesto detallado.																			
12. Aprobación del diseño final por parte de las autoridades.																			
13. Compra de terrenos																			
14. Licitación y selección de contratistas.																			
15. Negociación y firma de contratos.																			
16. Compra de equipos y materiales necesarios.																			
17. Desbroce y adecuación del terreno.																			

18. Contratación de mano de obra para realizar replanteos.																				
19. Replanteos de la zona de excavación y movimiento de tierras.																				
20. Construcción de tanques digestores.																				
21. Instalación de tuberías y sistemas de manejo de residuos.																				
22. Construcción de edificios y estructuras auxiliares.																				
23. Instalaciones en depósitos y periféricos																				
24. Instalación de generadores y sistemas eléctricos.																				
25. Instalación de sistemas de control y monitoreo.																				
26. Conexión de servicios públicos (agua, electricidad, etc.).																				
27. Revestimiento, techos y montaje electromecánico.																				
28. Instalación de cubiertas en digestores primarios y secundarios.																				
29. Verificación de la instalación y pruebas de funcionamiento.																				
30. Ajustes y calibración de equipos.																				
31. Formación del personal operativo en el manejo de la planta.																				
32. Desarrollo de manuales y protocolos operativos.																				
33. Inicio de operaciones en modo de prueba.																				
34. Resolución de problemas y ajustes finales.																				
35. Puesta en marcha biológica: calentar y llenar.																				

La construcción de la planta de biogás está programada para comenzar el 1 de junio de 2024. Dado que el proyecto tiene una duración estimada de 19 meses, se prevé que la planta esté completamente operativa para el 1 de enero de 2026. A partir de esta fecha, la planta estará en funcionamiento y comenzará a generar ingresos.

3.1.2 PRESUPUESTO

	Cantidad	Precio	Importe
Capítulo 1.5 : Ubicación del Terreno			
Parcela de terreno rústico Polígono 27, Parcela 355 Nules (Castellón) Referencia catastral: 12082A027003550000HB			
	5.053 m2	3,6 €/m2	18.190,80 €
Parcela de terreno rústico Polígono 27, Parcela 354 Nules (Castellón) Referencia catastral: 12082A027003540000HA			
	2.150 m2	3,6 €/m2	7.740,00 €
Parcela de terreno rústico Polígono 27, Parcela 387 Nules (Castellón) Referencia catastral: 12082A027003870000HB			
	2055 m2	3,6 €/m2	7.398,00 €
Capítulo 2.2 : Equipos			
Tanque de pre-almacenamiento para el purín de cerdo de cebo Tanque cilíndrico de elaboración propia a base de hormigón armado con capacidad para 375 m3 aproximadamente. Diámetro interior = 10m, Diámetro exterior = 10,4 m , Grosor paredes = 20 cm Altura interior = 5 m , Altura de la base = 0,25 m			
	53,28m3	75 €/m3	3.996,09 €
Balsa de pre-almacenamiento para el alperujo Balsa tetraédrica de elaboración propia a base de hormigón armado con capacidad para 2.224,72 m3 aproximadamente. Longitud externa = 25,4 m ; Ancho externo= 20,4 m ; Grosor paredes =20 cm Altura = 4,5 m, Altura de la base = 0,25 m			
	211,26m3	75 €/m3	15.844,50 €
Balsa de pre-almacenamiento para los lodos de EDARI de empresas cítricas Balsa tetraédrica de elaboración propia a base de hormigón armado con capacidad para 261,47 m3 aproximadamente. Longitud externa = 12,4 m ; Ancho externo= 6,4 m ; Grosor paredes = 20 cm Altura = 4 m, Altura de la base = 0,25 m			
	49,28 m3	75 €/m3	3.696,00 €

Balsa de pre-almacenamiento para los lodos de EDARI de empresas cárnicas				
Balsa tetraédrica de elaboración propia a base de hormigón armado con capacidad para 200 m3 aproximadamente. Longitud externa = 12,4 m ; Ancho externo= 4,4 m ; Grosos paredes =20 cm Altura = 4,25 m, Altura de la base = 20 cm				
		38,79m3	75 €/m3	2.909,40 €
Digestor				
Digestor anaeróbico con una capacidad de 2.596,73 m3 hecho de hormigón armado con un diámetro de 23m y una altura de 6,25 m incluye calefacción pared y de suelo, aislamiento, revestimiento, mezclador axial y sumergible, cubierta y dispositivos de seguridad y control.				
			423.876,56 €	423.876,56 €
Depósito para la fracción líquida del digestato				
Deposito cilindrico de elaboracion propia a base de hormigón armado con capacidad para 6.830,64 m3 aproximadamente. Diametro interior = 40 Diametro exterior = 40,4 ; Grosor paredes = 0,2 m Altura interior = 5,5 m , Altura de la base = 0,25 m				
		331,2m3	75€/m3	24.840,42 €
Solera para la fracción sólida del digestato				
Solera rectangular de elaboración propia a base de hormigón armado con capacidad para 1.265 m3. Dispone de un sistema de lixiviados. Altura = 0,25m ; Longitud = 47 m ; Ancho = 20 m				
		375 m3	75€/m3	28.125,0 €
Motor				
Grupo motor-generador de la marca MWM, tipo MWM 7CG 2016 B V12 Voltaje del generador: 400V Incluye intercambiador de placas para recuperación del calor del circuito de refrigeración.				
				502.247,62 €
Tolva con tornillo sin fin				
Se trata de una tolva de mezcla de 100 m3 que consta de 3 tornillos mezcladores, diseñados para la mezcla de distintos tipos de sustratos.				
				69.765,56 €
Tractor				
Tractor de ocasión con pala delantera de gran capacidad.				
				29.786,55 €
Bomba de distribución				
Bomba hidraulica para purín capaz de elevar 5 m3/h a una altura de 10m con motor estanco al purín y sumergible				
				4.354,76 €

Bomba soplante Bomba soplante monoetapa con presión máxima de 150mbar, y caudal de 210 m3/hora.					1.918,18 €
Pozo de Condensados Pozo de condensados de 50L para recogida de agua de condensacion en tuberías					1.865,67 €
Separador por presión helicoidal Se trata de un dispositivo formado básicamente por un oscilador, una criba y un tornillo sinfin que separa las fracciones líquida y sólida del digestato.					24.000,00 €
Válvulas Válvulas de retención, válvulas de bola, valvulas reguladoras de presión, válvula reguladora de gas					5.257,13 €
Báscula para peso de los camiones					31.123,87 €
Capítulo 2.3 : Instalación Eléctrica					
Centro de Transformación Grupo transformador HITACHI de 500kVA 400V / 20 kV					40.050,00 €
Conductor BT CA Cable unipolar TOPCABLE POWERFLEX® RV-K de 240 mm ² de sección, con aislamiento de polietileno reticulado tipo DIX-3 y cubierta PVC.					564,00 €
			20 m	28,2 €/ m	
Capítulo 2.4 : Elementos de Transporte y Conexión					
Tubería de sustrato líquido Tubería de polietileno de diámetro 200mm.					100,80 €
			5,6m	18€/m	
Tubería de digestato (digestor- separador por presión helicoidal) Tubería de polietileno de diámetro 200mm.					630,00 €
			35m	18€/m	

Tubería de gas Tubería de polietileno de diámetro 200mm.						
				12m	20€/m	240,00 €
Tubería de gas condensado Tubería de polietileno de diámetro 32mm.						
				70m	10€/m	700,00 €
Tubería de agua caliente Tubería de polietileno de diámetro 50mm.						
				12m	12€/m	244,00 €
Capítulo 2.5 : Obra Civil						
Adecuación del terreno Desbroce y limpieza del terreno						
				9.258 m2	1,14 €/m	10.554,12 €
Vallado Perimetral Montaje y Suministro de valla de cerramiento tipo malla cinégetica de 2,5 m de altura						
				440,15 m	14,11 € / m	6.210,52 €
Puerta de acceso Puerta con apertura lateral equipada con bastidores y paneles de acero galvanizado. Altura = 2,5 m ; Ancho = 5 m						
				1	2.756,98 €	2.756,98 €
Oficinas Caseta/módulo de obra prefabricado adecuado a uso de oficina						
				2	6.180,00 €	12.360,00 €

En el presente presupuesto, resulta fundamental incluir los costos asociados a la mano de obra necesaria para la ejecución de la ingeniería del proyecto, la maquinaria específicamente destinada al desarrollo del mismo, así como los gastos derivados de los trámites administrativos pertinentes.

- **Mano de obra y maquinaria:** Durante la construcción de la planta, cuya duración está prevista en 8 meses según el cronograma, se contempla la contratación de 4

operarios. El costo estimado de esta contratación es de 60.000 €. Durante el proyecto, será necesario alquilar maquinaria por el período requerido, con un coste estimado de aproximadamente 90.000 €

- **Ingeniería:** La ingeniería se encargará de realizar el estudio técnico del terreno, incluyendo su topografía. Además, será responsable de la elaboración de los planos necesarios, la dirección de la obra, y la evaluación del impacto ambiental del proyecto. Todo esto supondrá un coste de 140.000 €
- **Trámites administrativos:** Solicitud de licencia de obras y actividad entre otras, tanto a administraciones locales (Ayuntamiento de Nules), como provinciales (Delegación Provincial de Castellón), autonómicas (Comunidad Valenciana) o estatales (Ministerio de Industria del Gobierno de España). Se estima que esto supone un total de 25.000€.

En la Tabla 16 se detalla de forma resumida el presupuesto total de este proyecto:

<i>Concepto</i>	<i>Importe</i>
Terreno	33.328,80 €
Equipos	1.173.607,31 €
Instalación Eléctrica	40.614,00 €
Elementos de transporte y conexión	1.914,80 €
Obra Civil	31.881,62 €
Mano de obra y Maquinaria	150.000,00€
Ingeniería	140.000,00 €
Trámites Administrativos	25.000,00€
	1.596.346,53 €

Tabla 16. Resumen presupuesto total (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

3.1.3 FINANCIACIÓN

Basándose en el resultado del presupuesto de inversión obtenido en la Tabla 16, se requiere una financiación de 1.596.346,53 €. En este proyecto se ha decidido que la empresa desarrolladora del proyecto aportará aproximadamente un 20% de los fondos necesarios a

través de capital proporcionado por sus accionistas de manera directa, mientras que el 80% restante se adquirirá mediante financiación externa, solicitando un préstamo bancario y beneficiándose de subvenciones públicas.

- **Financiación interna:**

La financiación propia proviene directamente de los accionistas de la empresa desarrolladora del proyecto. Esta forma de financiación no solo proporciona el capital necesario para iniciar y desarrollar el proyecto, sino que también actúa como un pilar fundamental para conseguir financiación externa.

No obstante, es importante destacar que esta financiación implica un riesgo significativo para los accionistas. Al invertir su capital propio, los accionistas asumen la responsabilidad financiera y el riesgo asociado con el proyecto.

- **Financiación externa:**

Dado que es muy difícil que la empresa desarrolladora del proyecto aporte la totalidad de la financiación requerida, es necesario apoyarse en terceros para cubrir el 80% restante. La financiación externa se divide en dos categorías principales: subvenciones públicas y préstamos de instituciones privadas.

- Subvenciones públicas: Las instituciones públicas, a menudo, ofrecen subvenciones para proyectos que promueven la sostenibilidad, la innovación y el desarrollo económico. Estas subvenciones pueden cubrir una parte significativa del presupuesto del proyecto y no requieren reembolso, lo que alivia la carga financiera de la empresa. Obtener subvenciones públicas puede ser crucial para proyectos de energía renovable como la planta de biogás, ya que estos proyectos alinean con los objetivos gubernamentales de reducción de emisiones y promoción de energías limpias.

No se tiene planificado beneficiarse de ninguna clase de subvención pública.

- Instituciones privadas: Las entidades bancarias y otras instituciones financieras privadas ofrecen préstamos que permiten a las empresas financiar proyectos de gran escala. Aunque estos préstamos deben ser reembolsados con intereses, proporcionan los fondos necesarios para completar el proyecto cuando la financiación propia y las subvenciones públicas no son suficientes. Además, el proceso de obtener un préstamo no es difícil, ya que las instituciones financieras suelen tener procedimientos establecidos y facilidades para empresas con proyectos viables.

Como se ha mencionado anteriormente, la cantidad total de financiación propia por parte de la empresa desarrolladora del proyecto es de 321.346,53€, lo que supone aproximadamente el 20,13% del presupuesto de inversión inicial. Por otro lado, el importe restante, de 1.275.000 €, será aportado mediante la solicitud de un crédito a una entidad financiera. Las condiciones de este préstamo serán negociadas directamente entre las partes involucradas, no obstante, se supone que incluirán las siguientes especificaciones:

- Plazo de amortización: 10 años
- Tipo de interés: 5%
- Comisión de apertura: 1%
- Periodo de carencia total de 20 meses. Esto significa que el préstamo comenzará a pagarse una vez que el proyecto esté en funcionamiento y, por lo tanto, generando ingresos

La siguiente tabla, Tabla 17, presenta la cuantía presupuestada y la cuantía real (incluyendo la comisión de apertura del préstamo) de las distintas fuentes de financiación.

<i>Origen</i>	<i>% del total</i>	<i>Cuantía presupuestada</i>	<i>Cuantía real</i>
Empresa desarrolladora del proyecto	20,13%	321.346,53 €	321.346,53 €
Entidad Financiera	79,87%	1.275.000,00€	1.287.750,00 €

Tabla 17: Fuentes de financiación para la inversión (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

En la cuantía real del préstamo hay que añadir la comisión de apertura del 1%.

El cuadro de amortización del préstamo se adjunta en el Anexo V.

3.1.4 FLUJOS DE CAJA

3.1.5 INGRESOS

Los ingresos de la planta de biogás se derivan de las siguientes fuentes principales:

- **Gestión de residuos:**

La planta de biogás genera ingresos al ofrecer servicios de gestión de residuos a las empresas que producen diversos tipos de desechos. Este servicio es crucial, ya que permite a las empresas deshacerse de sus residuos de manera responsable y sostenible.

El costo de la gestión de residuos se fija en 15€/tonelada o 15€/m³, sin distinción entre los cuatro tipos de residuos que ingresan a la planta. Este precio uniforme facilita la facturación y asegura una tarifa justa para todos los residuos gestionados.

Además, el precio de gestión de residuos se ajustará anualmente de acuerdo con el Índice de Precios al Consumo (IPC), estimado en un 3%. Este ajuste permite que los ingresos de la planta mantengan su valor real a lo largo del tiempo, compensando los efectos de la inflación.

Refiriéndonos al apartado 2.2.1 “Diseño de la Planta”, observamos que durante el invierno (definido como el período de octubre a abril), la planta recibe 66 toneladas de materia prima. En contraste, durante el verano (de mayo a septiembre), la planta recibe 68 toneladas.

Es importante señalar que de octubre a abril hay 212 días, mientras que de mayo a septiembre hay 153 días. Considerando estos periodos y el ajuste del precio por tonelada con el IPC, se presenta en la Tabla 18 los ingresos proyectados durante la vida útil de la planta provenientes de la gestión de residuos.

<i>Año</i>	<i>Ingreso por gest residuos (€)</i>	<i>Año</i>	<i>Ingreso por gest residuos (€)</i>
2026	365.940,00 €	2041	570.122,60 €
2027	376.918,20 €	2042	587.226,27 €
2028	388.225,75 €	2043	604.843,06 €
2029	399.872,52 €	2044	622.988,35 €
2030	411.868,69 €	2045	641.678,01 €
2031	424.224,75 €	2046	660.928,35 €
2032	436.951,50 €	2047	680.756,20 €
2033	450.060,04 €	2048	701.178,88 €
2034	463.561,84 €	2049	722.214,25 €
2035	477.468,70 €	2050	743.880,68 €
2036	491.792,76 €	2051	766.197,10 €
2037	506.546,54 €	2052	789.183,01 €
2038	521.742,94 €	2053	812.858,50 €
2039	537.395,23 €	2054	837.244,25 €
2040	553.517,08 €	2055	862.361,58 €

Tabla 18: Ingreso anual por gestión de residuos (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

- **Venta de energía.**

La planta de biogás también obtiene ingresos mediante la venta de la energía eléctrica producida. Esta energía se inyecta a la red eléctrica, generando ingresos continuos a lo largo de la vida útil de la planta.

Como se ha mencionado en el apartado 2.2.5 “Motor”, la energía producida durante los 30 años de vida útil de la planta, con un factor de eficiencia del 90% y un factor de pérdida anual del 0,5%, se recoge en la Tabla 19:

<i>Año</i>	<i>Energía producida (KWh)</i>	<i>Año</i>	<i>Energía producida (KWh)</i>
2026	3.942.000	2041	3.656.477
2027	3.922.290	2042	3.638.194
2028	3.902.679	2043	3.620.004

2029	3.883.165	2044	3.601.904
2030	3.863.749	2045	3.583.894
2031	3.844.431	2046	3.565.975
2032	3.825.208	2047	3.548.145
2033	3.806.082	2048	3.530.404
2034	3.787.052	2049	3.512.752
2035	3.768.117	2050	3.495.188
2036	3.749.276	2051	3.477.712
2037	3.730.530	2052	3.460.324
2038	3.711.877	2053	3.443.022
2039	3.693.318	2054	3.425.807
2040	3.674.851	2055	3.408.678

Tabla 19: Estimación de Energía producida en 30 años (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

La venta de energía se realizará a través del mercado mayorista de electricidad conocido como 'pool'. En este contexto, el MIBEL (Mercado Ibérico de Electricidad) juega un papel fundamental. MIBEL es el mercado común de electricidad para España y Portugal, que permite la formación de precios a través de mecanismos competitivos y transparentes. Dentro del MIBEL, existen dos operadores principales: OMIE y OMIP.

- OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía - Polo Español): Gestiona el mercado diario de electricidad, facilitando la compra y venta a corto plazo a través de subastas diarias. Estas subastas establecen un precio de referencia, garantizando transparencia y competencia en el mercado.
- OMIP (Operador del Mercado Ibérico de Energía - Polo Portugués): Gestiona el mercado de futuros de electricidad, permitiendo la negociación de contratos a largo plazo. Esto ayuda a las empresas a gestionar riesgos y planificar los costos futuros de la energía.

Para estimar el precio de la energía durante la vida útil de la planta de biogás, utilizaremos los datos proporcionados por OMIP, ya que se encarga de la gestión a futuro y de la estimación de costos a largo plazo.

A lo largo de los años, se ha observado una tendencia a la disminución del precio de la energía debido a la creciente integración de energías renovables en el mercado. La Ilustración 17 muestra la previsión del OMIP sobre la evolución del precio de la energía para los próximos 10 años. Según esta previsión, el precio de la energía continúa su descenso, reflejando la mayor penetración de fuentes renovables y los cambios en la dinámica de oferta y demanda.































Contract name	PRICES											Transparency info	
	Best bid (€/MWh)	Best Ask (€/MWh)	Volume (MWh)	Price (€/MWh)	Time	Volume (MWh)	Open Interest	Nr of Contracts	OTC volume (MWh)	D (€/MWh)	D-1 (€/MWh)		
 FTB YR-25	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	66.40		
 FTB YR-26	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	57.00		
 FTB YR-27	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	55.61		
 FTB YR-28	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	54.52		
 FTB YR-29	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	53.52		
 FTB YR-30	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	53.53		
 FTB YR-31	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	52.71		
 FTB YR-32	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	52.71		
 FTB YR-33	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	52.71		
 FTB YR-34	n.a.	n.a.	0	n.a.	n.a.	n.a.		0	0	n.a.	52.67		

Ilustración 17: Precio 'pool' según OMIP (Fuente: OMIP, Elaboración: OMIP)

Es importante destacar que, en este análisis, no se dispone de acceso a previsiones más allá de los próximos 10 años. Por tanto, solo se tiene el precio estimado de la energía hasta el año 2034. Para poder proyectar el precio de la energía hasta el año 2055, que es la duración prevista de la planta, se realizará una extrapolación de los datos disponibles. Esta extrapolación comenzará en el año 2026, ya que se prevé que la planta estará en funcionamiento para esa fecha, después de los 20 meses que durará el proceso completo. La Ilustración 18 muestra la evolución del precio 'pool' y la extrapolación mencionada.

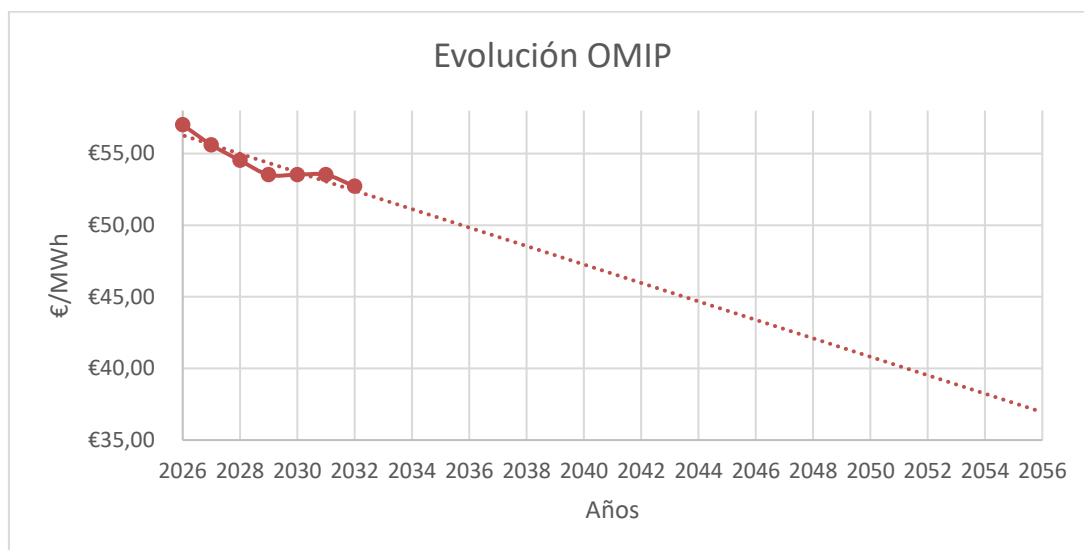


Ilustración 18: Evolución precio 'pool' (Fuente: OMIP, Elaboración: Propia)

Además, en la Tabla 20, se presenta el precio del pool desde 2026 hasta 2055, utilizando los datos de estimación proporcionados por el OMIP y extrapolando las tendencias observadas.

<i>Año</i>	<i>Precio "pool" (€/MWh)</i>	<i>Año</i>	<i>Precio "pool" (€/MWh)</i>
2026	57,00 €	2041	~ 46,58 €
2027	55,61 €	2042	~ 45,94 €
2028	54,52 €	2043	~ 45,30 €
2029	53,52 €	2044	~ 44,65 €
2030	53,53 €	2045	~ 44,01 €
2031	52,71 €	2046	~ 43,36 €
2032	52,71 €	2047	~ 42,72 €
2033	52,71 €	2048	~ 42,07 €
2034	52,67 €	2049	~ 41,43 €
2035	~ 50,45 €	2050	~ 40,78 €
2036	~ 49,81 €	2051	~ 40,14 €
2037	~ 49,16 €	2052	~ 39,50 €
2038	~ 48,52 €	2053	~ 38,85 €
2039	~ 47,87 €	2054	~ 38,21 €

2040	~ 47,23 €	2055	~ 37,56 €
------	-----------	------	-----------

Tabla 20. Evolución del precio “pool” eléctrico del 2026 al 2055 (Fuente: OMIP, Elaboración: Propia)

Finalmente, la Tabla 21, muestra el ingreso total por la venta de energía:

Año	Precio “pool” (€/MWh)	Año	Precio “pool” (€/MWh)
2026	224.694.000,00 €	2041	169.860.474,50 €
2027	218.118.546,90 €	2042	166.605.665,62 €
2028	212.768.661,60 €	2043	163.376.255,04 €
2029	207.811.202,40 €	2044	160.172.242,78 €
2030	206.794.954,80 €	2045	156.993.628,82 €
2031	205.701.444,00 €	2046	153.840.413,16 €
2032	201.549.335,40 €	2047	150.712.595,81 €
2033	200.510.421,30 €	2048	147.610.176,77 €
2034	199.320.134,40 €	2049	144.533.156,03 €
2035	189.922.692,20 €	2050	141.481.533,60 €
2036	186.515.493,48 €	2051	138.455.309,48 €
2037	183.133.693,07 €	2052	135.454.483,66 €
2038	179.777.290,97 €	2053	132.479.056,14 €
2039	176.446.287,17 €	2054	129.529.026,94 €
2040	173.140.681,68 €	2055	126.604.396,04 €

Tabla 21: Ingreso anual por venta de energía (Fuente: OMIP y propia, Elaboración: Propia)

- **Venta de fertilizantes:**

El digestato, el subproducto resultante del proceso de digestión anaeróbica posee excelentes propiedades fertilizantes, lo que lo hace valioso para los agricultores. La planta de biogás generará ingresos adicionales mediante la venta de este digestato en dos formas:

- Digestato Líquido: Se venderá a un precio de 5€/tonelada. Se obtienen 59,922 toneladas de digestato líquido al día.

- Digestato Sólido: Debido a su mayor concentración de nutrientes, se venderá a un precio de 10€/tonelada. Se obtienen 6,325 toneladas de digestato sólido al día.

La diferenciación en precios entre el digestato líquido y sólido refleja la variación en su concentración de nutrientes y su valor agregado para el uso agrícola.

Además, estos precios se ajustarán anualmente según el Índice de Precios al Consumo (IPC), lo que garantiza que los ingresos generados por la venta de digestato conserven su valor real a lo largo del tiempo, compensando así los efectos de la inflación.

En la Tabla 22 se muestra el ingreso por la venta de fertilizante a lo largo de la vida útil de la planta.

<i>Año</i>	<i>Ingreso por fertilizante (€)</i>	<i>Año</i>	<i>Ingreso por fertilizante (€)</i>
2026	132.443,90 €	2041	206.343,28 €
2027	136.417,22 €	2042	212.533,58 €
2028	140.509,73 €	2043	218.909,59 €
2029	144.725,03 €	2044	225.476,87 €
2030	149.066,78 €	2045	232.241,18 €
2031	153.538,78 €	2046	239.208,42 €
2032	158.144,94 €	2047	246.384,67 €
2033	162.889,29 €	2048	253.776,21 €
2034	167.775,97 €	2049	261.389,49 €
2035	172.809,25 €	2050	269.231,18 €
2036	177.993,53 €	2051	277.308,11 €
2037	183.333,33 €	2052	285.627,36 €
2038	188.833,33 €	2053	294.196,18 €
2039	194.498,33 €	2054	303.022,06 €
2040	200.333,28 €	2055	312.112,73 €

Tabla 22: Ingresos anuales por venta de fertilizante (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

3.1.6 GASTOS

Para asegurar el funcionamiento continuo y eficiente de la planta de biogás, es crucial considerar diversos gastos anuales de explotación. Estos gastos abarcan varios aspectos operativos y de mantenimiento que son esenciales para la operación segura y efectiva de la planta. A continuación, se detallan los principales componentes de estos gastos:

- **Personal:** Está prevista la contratación de cuatro trabajadores para la operación y mantenimiento de la planta de biogás. Durante el día, tres de estos trabajadores estarán presentes, mientras que el cuarto cubrirá el turno de noche.

Las funciones de los trabajadores diurnos incluyen la supervisión general de la planta, asegurando el correcto funcionamiento de todos los sistemas y gestionando la recepción de camiones con materia prima para el proceso de biogás. Además, deberán cargar la tolva con materia prima sólida utilizando el tractor con pala, y, posteriormente, recoger el digestato sólido que cae al suelo con el tractor y transportarlo a la solera. Estas tareas son esenciales para mantener la operación continua y eficiente de la planta, así como para garantizar la seguridad y el cumplimiento de las normativas ambientales y operativas.

El trabajador del turno nocturno se encargará principalmente de la monitorización de los sistemas automáticos, realizando ajustes y mantenimientos preventivos cuando sea necesario para evitar interrupciones en la producción de biogás y electricidad. Este enfoque asegura que la planta opere las 24 horas del día, maximizando la producción de energía y la eficiencia del proceso de gestión de residuos.

Los gastos asociados con sueldos y salarios para el personal de la planta se estiman en 140.000,00 € anuales. Este gasto se ajustará anualmente de acuerdo con

el Índice de Precios al Consumo (IPC) del 3%, garantizando que los ingresos del personal mantengan su poder adquisitivo frente a la inflación.

- **Impuesto de generación:** El impuesto de generación es un tributo que se aplica a la venta de energía eléctrica. Este impuesto equivale al 7% sobre los ingresos obtenidos por la venta de energía, según la normativa vigente. La ley que regula este impuesto es la Ley 15/2012, de 27 de diciembre, de medidas fiscales para la sostenibilidad energética. Esta ley establece que todas las empresas generadoras de energía eléctrica deben pagar un impuesto del 7% sobre sus ingresos brutos por la venta de dicha energía.
- **Impuesto de sociedades:** El Impuesto sobre Sociedades es un tributo directo que grava los beneficios obtenidos por las empresas y entidades jurídicas en España. Este impuesto se aplica sobre los beneficios netos de la empresa, es decir, los ingresos totales menos los gastos deducibles, y tiene una tasa fija del 25%.
- **Seguros:** Es fundamental considerar la contratación de seguros para la operación de la planta de biogás. El proceso de biogás, que involucra el manejo de materiales orgánicos, el uso de equipos complejos y la producción de energía, conlleva ciertos riesgos que deben gestionarse adecuadamente. Los seguros ofrecen una cobertura esencial contra diversas eventualidades, como daños a la propiedad, interrupciones en la operación, accidentes laborales y responsabilidades legales. El gasto asociado a la contratación de seguros para la planta de biogás se estima en 9.700€ anuales.
- **Mantenimiento:** El mantenimiento de la planta de biogás es un gasto esencial para asegurar su funcionamiento eficiente y prolongar la vida útil de sus componentes. Este mantenimiento incluye varias tareas cruciales:
 - o Mantenimiento del Motor: El motor, siendo uno de los componentes más críticos de la planta, requiere mantenimiento regular para asegurar su

rendimiento óptimo y prevenir averías. Esto incluye revisiones periódicas, cambios de aceite, inspección de partes mecánicas y eléctricas, y calibración de sistemas de control. 48.000,00 €/anuales

- Mantenimiento Preventivo: Se debe implementar un mantenimiento preventivo para anticipar y prevenir posibles problemas equipos diferentes al motor. Esto incluye inspecciones regulares, limpieza de equipos, lubricación de componentes móviles y actualización de sistemas de control. 15.000€/año
- Mantenimiento Correctivo: Es necesario un mantenimiento correctivo para detectar y reparar cualquier fallo que pueda surgir en la planta. Esto implica la reparación de equipos, reemplazo de piezas defectuosas y resolución de problemas operativos que puedan interrumpir la producción de biogás. 10.000,00€

En la Tabla 23 se redactan los gastos anuales de explotación del primer año, y cómo se actualizarán estos a lo largo de la vida útil de la planta:

<i>Gasto</i>	<i>Importe primer año</i>	<i>Actualización anual</i>
Personal	140.000,00 €	IPC (3%)
Seguros	9.700,00 €	IPC (3%)
Mantenimiento	73.000,00 €	2%

Tabla 23. Gastos de explotación anuales con su actualización anual (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

Además de los gastos mencionados anteriormente, es importante considerar los intereses del préstamo, los cuales deben ser pagados regularmente. En la Tabla 24 se detallan estos gastos a lo largo de la vida útil de la planta.

<i>Año</i>	<i>Intereses</i>
2026	68.473,47 €
2027	65.262,17 €
2028	61.385,38 €
2029	57.314,74 €

2030	53.040,58 €
2031	48.552,70 €
2032	43.840,43 €
2033	38.892,55 €
2034	33.697,28 €
2035	28.242,24 €
2036	22.514,45 €
2037	16.500,26 €
2038	10.185,37 €
2039	1.383,74 €

Tabla 24. Intereses pagados del préstamo durante la vida útil de la planta (Fuente: Propia. Elaboración: Propia)

3.1.7 RENTABILIDAD

Para evaluar la rentabilidad del proyecto de la planta de biogás, es crucial analizar diversos indicadores financieros que reflejan el rendimiento económico del mismo. Estos indicadores permiten determinar si la inversión generará los retornos esperados y en qué plazo se recuperará la inversión inicial.

La tasa de rendimiento requerida, conocida como K_e , es un indicador financiero crucial que se utiliza para determinar si un proyecto es rentable. K_e representa la tasa mínima de retorno que los inversores esperan obtener de una inversión, considerando el riesgo asociado. Esta tasa es fundamental para evaluar si los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto justifican la inversión inicial.

Si los flujos de efectivo futuros del proyecto indican un retorno superior a la tasa de rendimiento requerida (K_e), entonces el proyecto se considera rentable. Esto significa que los ingresos esperados compensan adecuadamente el riesgo asumido. Por el contrario, si el retorno esperado es inferior a K_e , el proyecto no es rentable, ya que no alcanza el umbral necesario para justificar la inversión.

Podemos calcular K_e mediante la siguiente fórmula:

$$K_e = R_f + \beta \cdot (R_m - R_f)$$

Donde:

K_e : Tasa de rendimiento requerida por los inversionistas.

R_f : Tasa libre de riesgo. Es el rendimiento de una inversión sin riesgo, como los bonos del gobierno. Representa el retorno mínimo que se espera de cualquier inversión sin considerar el riesgo. A fecha de estudio, esta tasa se encuentra en torno a 3,351%

β : Mide la volatilidad del proyecto en comparación con el mercado. Para este proyecto se toma como referencia el índice de Naturgy España que se encuentra en 0,82 a fecha de estudio.

$(R_m - R_f)$: Prima de riesgo del mercado. Es la diferencia entre el rendimiento del mercado y la tasa libre de riesgo. Representa el retorno adicional que los inversores exigen por asumir el riesgo de invertir en el mercado en lugar de una inversión sin riesgo. A fecha de estudio se encuentra a 9,6 puntos porcentuales según DatosMacro.

$$K_e = R_f + \beta \cdot (R_m - R_f)$$

$$K_e = 0,03351 + 0,82 \cdot 0,096 = 0,1123 = 11,23\%$$

- **VAN (Valor Actual Neto):**

El Valor Actual Neto (VAN) es una métrica financiera fundamental que se utiliza para evaluar la rentabilidad de un proyecto o inversión. Este indicador calcula la diferencia entre el valor presente de los flujos de efectivo futuros que un proyecto generará y la inversión inicial necesaria para llevarlo a cabo.

El VAN se calculará utilizando la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F \cdot C_t}{(1 + K_e)^t}$$

Donde:

I_0 : Inversión Inicial. Es el desembolso inicial que se requiere para llevar a cabo el proyecto

$F \cdot C_t$: Flujos de efectivo en el período. Son los ingresos netos que se espera generar en cada período

K_e : Tasa de rendimiento requerida por los inversionistas

Los resultados del cálculo del Valor Actual Neto (VAN) pueden clasificarse en tres categorías, cada una con un significado específico:

- $VAN > 0$: Un VAN positivo indica que el valor presente de los flujos de efectivo futuros supera la inversión inicial. Esto significa que el proyecto es rentable, ya que generará suficientes ingresos para cubrir la inversión y proporcionar un retorno adicional.
- $VAN = 0$: Un VAN igual a cero significa que el valor presente de los flujos de efectivo futuros es exactamente igual a la inversión inicial. En este caso, el proyecto ni gana ni pierde valor, simplemente recupera el capital invertido sin generar ganancias adicionales. Aunque no se obtienen beneficios, tampoco se incurre en pérdidas.
- $VAN < 0$: Un VAN negativo indica que el valor presente de los flujos de efectivo futuros del proyecto es menor que la inversión inicial. Esto significa que el proyecto no es rentable y no generará suficientes ingresos para recuperar la inversión y proporcionar un retorno adecuado.

El VAN del proyecto es de 1.418.021,63€ por tanto se puede decir que el proyecto es viable.

El cálculo del VAN detallado se encuentra en el Anexo VI.

- **TIR (Tasa Interna de Retorno):**

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es una medida financiera utilizada para evaluar la rentabilidad de un proyecto o inversión. El TIR es la tasa de descuento (K_e) que iguala el valor presente de los flujos de efectivo futuros generados por el proyecto con la inversión inicial, haciendo que el Valor Actual Neto (VAN) sea igual a cero. Calcularemos el TIR utilizando la siguiente fórmula:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F \cdot C_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

Los resultados del cálculo de la TIR se pueden interpretar de la siguiente manera:

1. $TIR > K_e$: El proyecto es rentable. Esto significa que el retorno esperado del proyecto excede el retorno mínimo requerido por los inversores, justificando la inversión.
2. $TIR = K_e$: El proyecto se encuentra en el umbral de rentabilidad. En este caso, el proyecto genera un retorno exactamente igual al retorno mínimo esperado, por lo que no se obtienen beneficios adicionales, pero tampoco se incurren en pérdidas.
3. $TIR < K_e$: El proyecto no es rentable. Esto significa que el retorno esperado del proyecto es inferior al retorno mínimo requerido por los inversores, lo que sugiere que la inversión no es atractiva.

El TIR de este proyecto es de 18,6319 % mayor que la tasa de descuento K_e y por tanto el proyecto es rentable.

El cálculo detallado del TIR se encuentra en el Anexo VI.

Se ha elaborado la Ilustración 19 para mostrar la relación entre el VAN y la tasa de descuento K_e . El valor de la TIR se determina en el punto donde la gráfica interseca el eje horizontal, indicando que el VAN es igual a 0.

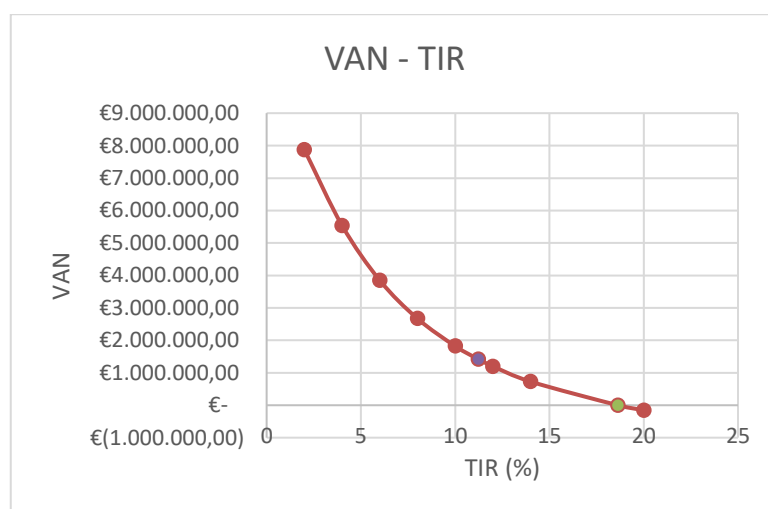


Ilustración 19: Gráfica VAN-TIR (Fuente: Propia, Elaboración: Propia)

- **Payback descontado:**

El Payback Descontado es una medida financiera que determina el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial de un proyecto, considerando el valor del dinero en el tiempo. A diferencia del método tradicional de payback, el payback descontado tiene en cuenta los flujos de efectivo futuros descontados a su valor presente utilizando una tasa de descuento.

El payback descontando de este proyecto tiene una duración de 9 años, su cálculo detallado se encuentra en el Anexo VI.

Capítulo 4. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Gestión de purines y economía circular: el gran reto de la ganadería,” *gestoresderesiduos.org*, 2024. Obtenido de <https://gestoresderesiduos.org/noticias/gestion-de-purines-y-economia-circular-el-gran-reto-de-la-ganaderia>.
- [2] *Genia Bioenergy*. (2024). *Plantas de biogás en España*. Obtenido de <https://geniabioenergy.com/plantas-biogas-en-espana/>
- [3] *Derichebourg España*. (2024). *¿Cuánta basura genera una persona al día?* Obtenido de <https://www.derichebourgespana.com/cuanta-basura-genera-una-persona-al-dia/>.
- [4] *Bibing*. (2024). *La digestión anaerobia*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70603/fichero/3.+la+digestion+anaerobia.pdf>.
- [5] *MITECO*. (2024). *Borrador para la actualización del PNIEC 2023-2030*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/_layouts/15/Borrador%20para%20la%20actualizaci%C3%B3n%20del%20PNIEC%2023-2030-64347.pdf.
- [6] *HRS Heat Exchangers*. (2024). *Temperatura del digestor: ¿Calentar o enfriar?*. Obtenido de <https://www.hrs-heatexchangers.com/es/noticias/temperatura-del-digestor-calentar-o-enfriar/>.
- [7] *Condorchem*. (2024). *Limpieza de biogás*. Obtenido de <https://condorchem.com/es/limpieza-de-biogas/>.
- [8] *Gruppo AB*. (2024). *Guía para la cogeneración en el sector del biogás*. Obtenido de <https://www.gruppoab.com/es/guia-para-la-cogeneracion-en-el-sector-del-biogas/>.
- [9] *Ministerio de Energía de Chile*. (2024). *Biodigestores de mezcla completa*. Obtenido de https://autoconsumo.minenergia.cl/?page_id=524#:~:text=Los%20biodigestores%20de%20mezcla%20completa,%2C%20no%20violenta%2C%20mediante%20agitadores.
- [10] *Enel X*. (2024). *¿Qué son los sistemas de cogeneración?* Obtenido de <https://corporate.enelx.com/es/question-and-answers/what-are-cogeneration-systems>.

- [11] *Renovables Consaburum. (2016). Cogeneración. Obtenido de*
<https://renovablesconsaburum.wordpress.com/wp-content/uploads/2016/03/cogeneracion3b3n.pdf>.
- [12] *Cinco Olivas. (2024). El alpechín, el orujo y el alperujo. Obtenido de*
<https://www.cincolivas.com/blog/el-alpechin-el-orujo-y-el-alperujo/#:~:text=con%20un%2091%25,-,Densidad,es%20de%20680%20kg%2Fm3>.
- [13] *Portal Frutícola. (2022). Guía para la fertilización del olivar. Obtenido de*
<https://www.portalfruticola.com/noticias/2022/10/21/guia-para-la-fertilizacion-del-olivar/>.

Capítulo 5. CONCLUSIONES

La planta de biogás diseñada en este proyecto se ubica en el término municipal de Nules (Castellón de la Plana) y tiene una capacidad instalada de 500 kW. Este proyecto tiene como objetivo principal reducir la cantidad de residuos orgánicos generados en la región y minimizar su impacto ambiental a través de la digestión anaeróbica de purín de cerdo, lodos de EDARI de empresas cítricas y cárnicas, y alperujo.

La instalación cuenta con un digestor anaeróbico mesofílico que opera a una temperatura aproximada de 37°C, produciendo biogás compuesto principalmente de metano y dióxido de carbono. El biogás generado es utilizado para alimentar un motor de combustión interna que produce electricidad, la cual es inyectada a la red eléctrica a través de un Centro de Transformación con relación 400V/20kV. El digestato resultante se utiliza como fertilizante, cerrando así el ciclo de una economía circular.

El costo total del proyecto se presupuestó en 1.596.346,53 €, financiado en un 20% con capital propio y el restante mediante un préstamo bancario a 20 años. La evaluación económica ha sido exhaustiva y ha considerado diversos factores para garantizar la viabilidad del proyecto.

El VAN positivo de 1.418.021,63 € indica que el proyecto generará ingresos netos significativos a lo largo de su vida útil, superando el coste inicial de la inversión. Este resultado es motivador por varias razones: el proyecto genera flujos de caja constantes y crecientes a lo largo del tiempo, gracias a la venta de electricidad, a la gestión de residuos y la comercialización del digestato como fertilizante. Además, al tener tres fuentes de ingresos, el riesgo financiero se ve reducido.

La TIR de 18,6319 % es considerablemente superior a la tasa de descuento utilizada (11,23%), lo que confirma la viabilidad financiera del proyecto. Sin embargo, hay que tener cuidado en el futuro con las posibles fluctuaciones en los precios de la electricidad, ya que estos pueden afectar los ingresos. Aun así, el ingreso por la venta de energía representa solo un 31% del ingreso total, por lo que el riesgo no es tan elevado. También cabe tener en cuenta y ser cautelosos con la dependencia de un préstamo bancario a 20 años, ya que esto introduce riesgos financieros relacionados con las tasas de interés y la capacidad de generar ingresos suficientes para cubrir los pagos de deuda.

La propuesta de futuro más viable para maximizar la eficiencia y rentabilidad de la planta de biogás es la inyección del biogás en la red gasista. Existen dos opciones para lograr esto: la primera opción es el uso de cisternas virtuales, que consiste en almacenar el biogás en cisternas ubicadas en la planta y transportarlas en camión a una instalación cercana a una tubería gasista para su inyección. Esta opción es viable si la red gasista está lejos, pero implica una mayor burocracia y costos logísticos. La segunda opción es la conexión directa a la red gasista, que sería posible si existe una línea gasista cercana. Esta alternativa implica realizar una inversión en una tubería que conecte directamente la planta a la red, lo cual es más sencillo administrativamente y reduce los costos operativos a largo plazo, aunque requiere una inversión inicial significativa.

Finalmente, este proyecto no solo busca reducir la contaminación mediante la correcta gestión de residuos ni aumentar la capacidad de generación de energía renovable a través de la planta, sino que además representa una excelente oportunidad de inversión, como lo indican los indicadores financieros. Con un VAN positivo y un periodo de recuperación (payback) en el noveno año desde el inicio de operaciones de la planta, el proyecto demuestra su viabilidad y rentabilidad.

ANEXO I: FICHAS CATASTRALES

Sede Electrónica del Catastro 11/04/2024 03:06:07
Castellano [CONTACTENOS](#)

Consulta y certificación de Bien Inmueble

CARTOGRAFÍA

CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA

IMPRIMIR DATOS

VISOR 3D

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Referencia catastral: 12082A027003550000HB

Localización: Polígono 27 Parcela 355 BELCAIRE, NULES (CASTELLÓN)


Clase: Rústico

Uso principal: Agrario

PARCELA CATASTRAL

Localización: Polígono 27 Parcela 355 BELCAIRE, NULES (CASTELLÓN)

Superficie gráfica: 5.053 m²



CULTIVO

Subparcela	Cultivo/Aprovechamiento	Intensidad Productiva	Superficie m ²
0	NR Agrios regadío	05	5.053

Sede Electrónica del Catastro 11/04/2024 03:09:17
Castellano [CONTACTENOS](#)

Consulta y certificación de Bien Inmueble

CARTOGRAFÍA

CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA

IMPRIMIR DATOS

VISOR 3D

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Referencia catastral: 12082A027003870000HB

Localización: Polígono 27 Parcela 387 BELCAIRE, NULES (CASTELLÓN)


Clase: Rústico

Uso principal: Agrario

PARCELA CATASTRAL

Localización: Polígono 27 Parcela 387 BELCAIRE, NULES (CASTELLÓN)

Superficie gráfica: 2.055 m²



CULTIVO

Subparcela	Cultivo/Aprovechamiento	Intensidad Productiva	Superficie m ²
0	NR Agrios regadío	05	1.734

Sede Electrónica del Catastro 11/04/2024 03:07:39
Castellano [CONTACTENOS](#)

Consulta y certificación de Bien Inmueble

CARTOGRAFÍA

CONSULTA DESCRIPTIVA Y GRÁFICA

IMPRIMIR DATOS

VISOR 3D

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Referencia catastral: 12082A027003540000HA

Localización: Polígono 27 Parcela 354 BELCAIRE, NULES (CASTELLÓN)


Clase: Rústico

Uso principal: Agrario

PARCELA CATASTRAL

Localización: Polígono 27 Parcela 354 BELCAIRE, NULES (CASTELLÓN)

Superficie gráfica: 2.150 m²



CULTIVO

Subparcela	Cultivo/Aprovechamiento	Intensidad Productiva	Superficie m ²
0	NR Agrios regadío	05	2.150

ANEXO II: FICHA TÉCNICA DEL MOTOR

Datos técnicos

500 kWel; 400 V, 50 Hz; Según análisis de gas

Condiciones de diseño

Temperatura de entrada / humedad del aire:	[°C / %]	35 / 60
Altura:	[m]	100
Temperatura de los gases de escape después del intercambiador:	[°C]	180
NO _x Emission	[mg/m ³ n]	500

Grupo:

Motor:	TCG2016V12C.	
Revoluciones:	[1/min]	1500
Configuración / número de cilindros:	[-]	V / 12
Diámetro / Carrera / Desplazamiento:	[mm / mm / dm ³]	132 / 160 / 26
Relación de compresión:	[-]	15
Velocidad media de pistones:	[m/s]	8
Consumo medio de aceite lubricante a plena carga:	[g/kWh]	0,2
Sistema de control del motor:	[-]	TEM EVO
Generador:	Marelli MJB 400 LA4	
Tensión / Rango de tensión / cos Phi:	[V / % / -]	400 / ±5 / 1
Revoluciones / Frecuencia:	[1/min / Hz]	1500 / 50

Datos de los gases gas de combustión

MWM Número de metano:	[-]	137
Valor calorífico inferior:	[kWh/m ³]	5,98
Densidad de gas:	[kg/m ³ n]	1,20
Conforme a análisis de gas		
Análisis: CO ₂	[Vol%]	37
N ₂	[Vol%]	2
O ₂	[Vol%]	1
H ₂	[Vol%]	0
CO	[Vol%]	0
CH ₄	[Vol%]	60
C ₂ H ₆	[Vol%]	0
C ₃ H ₈	[Vol%]	0
C ₄ H ₁₀	[Vol%]	0
C _x H _y	[Vol%]	0
H ₂ S	[Vol%]	0

Balance energético

Carga:	[%]	100	75	50
Potencia eléctrica COP conforme a ISO 8528-1:	[kW]	500	375	250
Energía del agua de refrigeración:	[kW ±8%]	277	224	175
Energía del intercambiador de calor BT:	[kW ±8%]	30	17	7
Energía del aceite de lubricación:	[kW ±8%]			
Energía de los gases de escape a temp. después del intercamb.:	[kW ±8%]	241	196	148
Temperatura de los gases de escape:	[°C]	465	484	507
Caudal húmedo de los gases de escape:	[kg/h]	2744	2088	1464
Caudal de aire de combustión - ISO 3046/1:	[kg/h]	2509	1906	1334
Radiación motor / generador:	[kW ±8%]	19 / 17	15 / 15	11 / 13
Consumo de combustible:	[kW +5%]	1201	930	667
Eficiencia eléctrica / térmica:	[%]	41,6 / 43,2	40,3 / 45,2	37,5 / 48,5
Eficiencia total:	[%]	84,8	85,5	86,0

Parámetros del sistema ¹⁾

Flujo de aire de ventilación (incl. aire de combustión) a ΔT = 10K	[kg/h]	19900
Temperatura de aire de combustión mínima / diseño:	[°C]	25 / 35
Contrapresión de gas de escape de / a:	[mbar]	30 / 50
Pérdida máx. de presión de aire comb. frente al filtro de aire:	[mbar]	5
Sistema de control de baja presión seleccionable de / a: ²⁾	[mbar]	20 / 300
Sistema de control de alta presión seleccionable de / a: ²⁾	[bar]	0,5 / 10
Batería de arranque 24 V, capacidad necesaria:	[Ah]	143
Arranque:	[kWel. / VDC]	5,4 / 24
Contenido de aceite lubricante motor / bastidor base:	[dm ³]	100 / 120
Peso en vacío motor / grupo:	[kg]	2650 / 6250

Sistema de refrigeración

Contenido de glicol del circ. de refrig. del motor / de mezcla:	[% Vol.]	0 / 0
Contenido de agua del circ. de refrig. del motor / de mezcla:	[dm ³]	43 / 5
Valor Kvs / Cv del circ. de refrig. del motor / de mezcla:	[m ³ /h]	37 / 10
Circ. de refrigeración del motor entrada de agua / salida de agua:	[°C]	78 / 88
Circ. de refrigeración de mezcla entrada de agua / salida de agua:	[°C]	50 / 53
Caudal vol. de agua de refrig. del motor mín / máx:	[m ³ /h]	22 / 37
Caudal vol. de agua del circ. de refrig. del motor / de mezcla:	[m ³ /h]	24 / 10
Pérdida de pres. de agua del circ. de refrig. del motor / de mezcla:	[bar]	0,4 / 0,9

1) Consultar MWM "Construcción de compl. energéticos" 2) Consultar TR 0199-99-3017

Nivel de ruido del motor	Octava banda de frecuencias medias [Hz]								Nivel de suma (en 1 m de distancia)
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Ruido de escape [dB(lin)]	106	117	122	117	116	116	111	105	122 (±2,5 dB(A))
Ruido de aire [dB(lin)]	87	89	91	93	93	92	89	95	99 (±1,0 dB(A))

ANEXO III: CÁLCULO DE CABLEADO

En este Anexo se explica el método que se ha decidido seguir para calcular la sección del cable que conecta el Grupo MotorGenerador con el centro de transformación (CT) a baja tensión mediante la norma ITC-LAT 06 e IEC 60287-2-2 sobre la intensidad máxima admisible.

La Tabla 25 muestra el tipo de conductor, su origen y su destino.

<i>Tipo de conductor</i>	<i>Origen</i>	<i>Destino</i>
POWERFLEX RV-K	Grupo Motor Generador	Centro de Transformación (CT)

Tabla 25. Cableado de BT en CA (Fuente: TopTable, Elaboración: Propia)

1. Cálculo de la máxima corriente admisible

La principal razón para dimensionar un cable considerando la máxima corriente admisible es prevenir el sobrecalentamiento. Si la corriente es demasiado alta, la temperatura del cable puede superar los límites seguros especificados para el material del conductor y su aislamiento.

El cableado de baja tensión transporta 500kVA partiendo del motor hasta el centro de transformación a una tensión de 400V.

Utilizando la siguiente forma sobre electricidad trifásica, se calcula la corriente que dicho cable está transportando.

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{500 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 721,69 \text{ A}$$

Para asegurar que el cálculo de la máxima corriente admisible sea preciso, es necesario considerar los factores de corrección basados en las condiciones ambientales del lugar de instalación. Estos factores, detallados en normativas como la ITC-LAT-06, ajustan la capacidad de corriente del cable para reflejar variaciones en la temperatura ambiente, la agrupación de cables, y otros factores

que pueden afectar el desempeño térmico del cable. Los factores de detallan en la Tabla 26.

<i>Descripción</i>	<i>Valor</i>	<i>F</i>
Máxima temperatura para cables enterrados distinta a 20°C	30°C	0,96
Resistividad del terreno distinta a 2,5K·m/W	2,5 K·m/W	0,8
Profundidad del cableado enterrado	0,8 m	1,02

Tabla 26. Cableado de BT en CA (Fuente: BOE, Elaboración: Propia)

$$I_{CORR} = I_n \cdot F_T \cdot F_R \cdot F_P = 721,69 \cdot 0,96 \cdot 0,8 \cdot 1,02 = 565,34 \text{ A}$$

Donde:

I_n : Intensidad máxima ajustada por la temperatura de operación (A).

F_T : Factor de corrección por temperatura.

F_R : Factor de corrección por resistividad del terreno.

F_P : Factor de corrección por profundidad.

2. Máxima caída de tensión

Según se indican en el RAT, se escogerá una caída de tensión de 0.5% como máximo.

3. Cálculo de la sección del cableado de BT

Mediante la siguiente fórmula se calcula la sección del cableado para líneas monofásicas:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I \cdot \cos(\varphi)}{\Delta V}$$

Donde:

S: Sección de conductor (mm^2)

ρ : Resistividad eléctrica ($\Omega \cdot \text{m}$)

$$\rho_{Cu}(90^\circ\text{C}) = \rho_{Cu}(20^\circ\text{C}) \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) = 0,0168 \cdot (1 + 0,0039 \cdot (90 - 20)) = 0,0214$$

L: Longitud del conductor, ésta será de 20 m.

I: Corriente transportada (A)

$\cos(\varphi)$: Factor de potencia. Según fabricante del grupo inversor se ajusta a 1.

ΔV : Caída de tensión: $0,5\% \cdot 400\text{V} = 2\text{V}$

Por tanto, la sección del cableado de baja tensión en CA que conecta el motor con el centro de transformación es de:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot \rho \cdot L \cdot I}{\Delta V} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0,0214 \cdot 20 \cdot 565,34}{2} = 209,55 \text{ mm}^2$$

ANEXO IV: FICHA TÉCNICA CABLE

Cable flexible de potencia para uso industrial.

NORMAS DE REFERENCIA: IEC 60502-1 / UNE 21123-2



Eca

APLICACIÓN

El cable Powerflex® RV-K es un cable flexible de potencia diseñado para satisfacer los requisitos industriales más exigentes: conexiones industriales de baja tensión, redes urbanas, instalaciones en edificios, etc.

Su flexibilidad lo hace particularmente adecuado en trazados difíciles. Gracias al diseño de sus materiales, puede ser instalado en todo tipo de condiciones ambientales: zonas húmedas y secas, instalación al aire libre, enterrado, e incluso sumergido en agua (AD8), sin que perjudique la vida útil del cable.

- Uso Industrial.
- Alumbrado exterior.

CONSTRUCCIÓN

Conductor

Cobre electrolítico recocido, clase 5 (flexible) según UNE-EN 60228 e IEC 60228.

Aislamiento

Polietileno reticulado tipo DIX-3 según HD 603-1 y tipo XLPE según IEC 60502-1.

La identificación normalizada de los conductores aislados según HD 308 es la siguiente:


1 x	Natural
2 x	Azul + Marrón
3 G	Azul + Marrón + Amarillo/Verde
3 x	Marrón + Negro + Gris
3 x + 1 x	Marrón + Negro + Gris + Azul (sección reducida)
4 G	Marrón + Negro + Gris + Amarillo/Verde
4 x	Marrón + Negro + Gris + Azul
5 G	Marrón + Negro + Gris + Azul + Amarillo/Verde
6 o más	Negros numerados + Amarillo/Verde


Cubierta


PVC flexible tipo DMV-18 según HD 603 y tipo ST2 según IEC 60502-1.


Color negro.


CARACTERÍSTICAS


-  **Características eléctricas**
Baja tensión: 0,6/1 kV.

-  **Características térmicas**
Temperatura máxima del conductor: 90°C.
Temperatura máxima en cortocircuito: 250°C (máximo 5 s).
Temperatura mínima de servicio: -40°C (estático con protección).
Temperatura mínima de instalación y manipulación: 0°C (en la superficie del cable).

-  **Características frente al fuego**
No propagación de la llama según UNE-EN 60332-1 / IEC 60332-1.
Reacción al fuego CPR: Eca según EN 50575.
Reducida emisión de halógenos. Cloro < 15%.

-  **Características mecánicas**
Radio de curvatura: 5x diámetro exterior.
Resistencia a los impactos: AG2 Medio.

-  **Características medioambientales**
Resistencia a los ataques químicos: Buena.
Resistencia a los rayos ultravioleta según UNE 211605.
Resistencia de agua: AD8 Sumersión.

-  **Condiciones de instalación**
Al aire.
Enterrado.
Entubado.
En bandeja.

NORMAS / CERTIFICACIONES

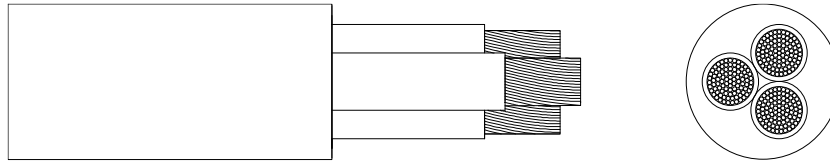
 **Norma de referencia**
IEC 60502-1 / UNE 21123-2

 **ITC y certificaciones**
ITC: 9 / 20 / 30 / 31
AENOR / BUREAU VERITAS / RETIE / KEMA-KEUR / RoHS / CE

 **CPR (Reglamento de Productos de la Construcción)**
Eca.



DIMENSIONES E INTENSIDADES ADMISIBLES



Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (kg/km)	Aire libre (A) ¹	Enterrado (A) ²	Caída tensión (V/A.km) ³
1 x 1,5	5,7	45	28	27	33,9
1 x 2,5	6,2	55	39	35	20,3
1 x 4	6,7	70	53	46	12,6
1 x 6	7,3	90	68	58	8,41
1 x 10	8,2	135	93	77	4,87
1 x 16	9,2	190	124	100	3,08
1 x 25	11,0	285	161	129	1,98
1 x 35	12,1	385	200	155	1,41
1 x 50	13,8	520	242	183	0,984
1 x 70	15,7	715	310	225	0,693
1 x 95	17,6	925	377	270	0,525
1 x 120	19,2	1.165	437	306	0,410
1 x 150	21,5	1.450	504	343	0,328
1 x 185	23,9	1.750	575	387	0,270
1 x 240	26,9	2.280	679	448	0,204
1 x 300	29,6	2.830	783	502	0,163
1 x 400	33,8	3.735	940	592	0,123
1 x 500	37,4	4.780	1.083	670	0,097
1 x 630	42,7	6.280	1.254	762	0,073
1 x 800	51,5	8.235	1.454	870	0,056
1 x 1000	59,9	10.410	1.670	988	0,044
2 x 1,5	8,2	90	26	27	33,9
2 x 2,5	9,2	120	36	35	20,3
2 x 4	10,3	165	49	46	12,6
2 x 6	11,3	215	63	58	8,41
2 x 10	13,2	320	86	77	4,87
2 x 16	14,9	450	115	100	3,08
2 x 25	20,8	810	149	129	1,98
2 x 35	22,0	1.000	185	155	1,41
2 x 50	25,7	1.375	225	183	0,984
2 x 70	29,5	1.880	289	225	0,693
2 x 95	33,0	2.430	352	270	0,525
3 G 1,5	8,9	110	26	27	33,9
3 G 2,5	9,8	145	36	35	20,3
3 G 4	11,0	200	49	46	12,6
3 G 6	12,1	265	63	58	8,41
3 G 10	14,3	405	86	77	4,87
3 x 16	16,4	595	115	100	3,08
3 x 25	20,7	955	149	129	1,98
3 x 35	23,1	1.275	185	155	1,41
3 x 50	26,8	1.750	225	183	0,984
3 x 70	29,6	2.370	289	225	0,693
3 x 95	35,0	3.140	352	270	0,525

Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (kg/km)	Aire libre (A) ¹	Enterrado (A) ²	Caída tensión (V/A·km) ³
3 x 120	39,8	4.115	410	306	0,41
3 x 150	44,7	5.130	473	343	0,328
3 x 185	49,9	6.285	542	387	0,270
3 x 240	54,1	7.875	641	448	0,204
3 x 300	62,3	10.100	741	502	0,163
3 x 400	72,1	13.435	886	592	0,123
3x16+1x10	17,6	700	115	100	3,08
3x25+1x16	22,7	1.140	149	129	1,98
3x35+1x16	25,0	1.480	185	155	1,41
3x50+1x25	29,1	2.050	225	183	0,984
3x70+1x35	33,8	2.850	289	225	0,693
3x95+1x50	38,2	3.700	352	270	0,525
3x120+1x70	42,1	4.750	410	306	0,410
3x150+1x70	46,8	5.800	473	343	0,328
3x185+1x95	53,5	7.200	542	387	0,270
3x240+1x120	58,5	9.100	641	448	0,204
4 G 1,5	9,7	130	26	27	33,9
4 G 2,5	10,7	175	36	35	20,3
4 G 4	12,0	245	49	46	12,6
4 G 6	13,4	330	63	58	8,41
4 G 10	15,7	505	86	77	4,87
4 x 16	18,2	750	115	100	3,08
4 x 25	24,1	1.245	149	129	1,98
4 x 35	26,3	1.675	185	155	1,41
4 x 50	31,3	2.315	225	183	0,984
4 x 70	36,1	3.205	289	225	0,693
4 x 95	40,2	4.130	352	270	0,525
4 x 120	44,6	5.245	410	306	0,410
4 x 150	49,8	6.575	473	343	0,328
4 x 185	56,1	8.050	542	387	0,270
4 x 240	64,5	10.695	641	448	0,204
4 x 300	68,4	12.885	741	502	0,163
5 G 1,5	10,4	155	26	27	33,9
5 G 2,5	11,6	215	36	35	20,3
5 G 4	13,2	300	49	46	12,6
5 G 6	14,7	405	63	58	8,41
5 G 10	17,1	625	86	77	4,87
5 G 16	20,2	935	115	100	3,08
5 G 25	26,6	1.555	149	129	1,98
5 G 35	29,3	2.080	185	155	1,41
5 G 50	34,5	2.895	225	183	0,984
5 G 70	38,7	3.930	289	225	0,693
5 G 95	44,6	5.190	352	270	0,525
5 G 120	49,7	6.560	410	306	0,410
5 G 150	55,6	8.145	473	343	0,328
5 G 185	62,5	9.975	542	387	0,270
5 G 240	71,8	13.210	641	448	0,204
7 G 1,5	11,2	190	26	27	33,9
7 G 2,5	12,4	265	36	35	20,3
10 G 1,5	13,2	260	26	27	33,9
10 G 2,5	16,3	380	36	35	20,3

Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (kg/km)	Aire libre (A) ¹	Enterrado (A) ²	Caída tensión (V/A·km) ³
12 G 1,5	14,2	295	26	27	33,9
12 G 2,5	15,7	420	36	35	20,3
14 G 1,5	14,9	315	26	27	33,9
24 G 1,5	20,4	550	26	27	33,9

¹ Método de referencia F para cables unipolares y método E para cables multiconductores según IEC 60364-5-52 al aire libre a 30 °C de temperatura ambiente.

² Método de referencia D2 según IEC 60364-5-52. Directamente enterrados a 0,7 m de profundidad con una resistividad térmica del suelo de 2,5 K-m/W y 20°C de temperatura del suelo.

³ A temperatura máxima de conductor y $\cos\phi=1$.

En todos los casos se supone un circuito monofásico.

INTENSIDADES EN CORTOCIRCUITO

Tiempo (s)	0,1	0,2	0,3	0,5	1	1,5	2	2,5	3
A/mm²	452	320	261	202	143	117	101	90	83

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURAS DEL AIRE

T. Aire (°C)	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Factor	1,08	1,04	1	0,96	0,91	0,87	0,82	0,76	0,71

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA TEMPERATURAS DEL TERRENO

T. Terreno (°C)	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Factor	1,07	1,04	1	0,96	0,93	0,89	0,85	0,80	0,76

FACTORES DE CORRECCIÓN PARA RESISTIVIDADES TÉRMICAS DEL TERRENO

Grado de humedad del terreno	Muy húmedo	Ligeramente húmedo	Ligeramente seco	Seco	Muy seco
Resist. térmica (K·m/W)	1	1,5	2	2,5	3
Factor	1,50	1,28	1,12	1	0,90

Otros factores de corrección (para agrupamiento de cables, para corrientes armónicas), que no están en la especificación, pueden ser aplicados. Puede encontrar más Información en IEC 60364-5-52.

ANEXO V: CUADRO AMORTIZACIÓN

<i>s</i>	<i>Cs</i>	<i>as</i>	<i>As</i>	<i>Is</i>	<i>Ms</i>
0	1.287.750,00 €				
1	1.292.996,45 €	- €	- €	5.246,45 €	- 5.246,45 €
2	1.298.264,28 €	- €	- €	5.267,83 €	- 10.514,28 €
3	1.303.553,57 €	- €	- €	5.289,29 €	- 15.803,57 €
4	1.308.864,41 €	- €	- €	5.310,84 €	- 21.114,41 €
5	1.314.196,88 €	- €	- €	5.332,48 €	- 26.446,88 €
6	1.319.551,08 €	- €	- €	5.354,20 €	- 31.801,08 €
7	1.324.927,10 €	- €	- €	5.376,01 €	- 37.177,10 €
8	1.330.325,02 €	- €	- €	5.397,92 €	- 42.575,02 €
9	1.335.744,93 €	- €	- €	5.419,91 €	- 47.994,93 €
10	1.341.186,92 €	- €	- €	5.441,99 €	- 53.436,92 €
11	1.346.651,08 €	- €	- €	5.464,16 €	- 58.901,08 €
12	1.352.137,50 €	- €	- €	5.486,42 €	- 64.387,50 €
13	1.357.646,28 €	- €	- €	5.508,78 €	- 69.896,28 €
14	1.363.177,49 €	- €	- €	5.531,22 €	- 75.427,49 €
15	1.368.731,25 €	- €	- €	5.553,75 €	- 80.981,25 €
16	1.374.307,63 €	- €	- €	5.576,38 €	- 86.557,63 €
17	1.379.906,73 €	- €	- €	5.599,10 €	- 92.156,73 €
18	1.385.528,64 €	- €	- €	5.621,91 €	- 97.778,64 €
19	1.391.173,45 €	- €	- €	5.644,82 €	- 103.423,45 €
20	1.396.841,27 €	- €	- €	5.667,81 €	- 109.091,27 €
21	1.402.532,17 €	11.899,84 €	6.208,93 €	5.690,90 €	- 114.782,17 €

22	1.408.246,26 €	11.899,84 €	6.185,75 €	5.714,09 €	-	120.496,26 €
23	1.413.983,63 €	11.899,84 €	6.162,47 €	5.737,37 €	-	126.233,63 €
24	1.419.744,38 €	11.899,84 €	6.139,09 €	5.760,74 €	-	131.994,38 €
25	1.413.628,75 €	11.899,84 €	6.115,62 €	5.784,21 €	-	125.878,75 €
26	1.407.488,21 €	11.899,84 €	6.140,54 €	5.759,30 €	-	119.738,21 €
27	1.401.322,65 €	11.899,84 €	6.165,56 €	5.734,28 €	-	113.572,65 €
28	1.395.131,97 €	11.899,84 €	6.190,68 €	5.709,16 €	-	107.381,97 €
29	1.388.916,08 €	11.899,84 €	6.215,90 €	5.683,94 €	-	101.166,08 €
30	1.382.674,85 €	11.899,84 €	6.241,22 €	5.658,62 €	-	94.924,85 €
31	1.376.408,20 €	11.899,84 €	6.266,65 €	5.633,19 €	-	88.658,20 €
32	1.370.116,02 €	11.899,84 €	6.292,18 €	5.607,66 €	-	82.366,02 €
33	1.363.798,20 €	11.899,84 €	6.317,82 €	5.582,02 €	-	76.048,20 €
34	1.357.454,65 €	11.899,84 €	6.343,56 €	5.556,28 €	-	69.704,65 €
35	1.351.085,25 €	11.899,84 €	6.369,40 €	5.530,44 €	-	63.335,25 €
36	1.344.689,90 €	11.899,84 €	6.395,35 €	5.504,49 €	-	56.939,90 €
37	1.338.268,49 €	11.899,84 €	6.421,41 €	5.478,43 €	-	50.518,49 €
38	1.331.820,92 €	11.899,84 €	6.447,57 €	5.452,27 €	-	44.070,92 €
39	1.325.347,09 €	11.899,84 €	6.473,84 €	5.426,00 €	-	37.597,09 €
40	1.318.846,88 €	11.899,84 €	6.500,21 €	5.399,63 €	-	31.096,88 €
41	1.312.320,18 €	11.899,84 €	6.526,69 €	5.373,15 €	-	24.570,18 €
42	1.305.766,90 €	11.899,84 €	6.553,28 €	5.346,55 €	-	18.016,90 €
43	1.299.186,92 €	11.899,84 €	6.579,98 €	5.319,86 €	-	11.436,92 €
44	1.292.580,13 €	11.899,84 €	6.606,79 €	5.293,05 €	-	4.830,13 €
45	1.285.946,42 €	11.899,84 €	6.633,71 €	5.266,13 €	-	1.803,58 €
46	1.279.285,68 €	11.899,84 €	6.660,73 €	5.239,10 €	-	8.464,32 €

47	1.272.597,81 €	11.899,84 €	6.687,87 €	5.211,97 €	15.152,19 €
48	1.265.882,69 €	11.899,84 €	6.715,12 €	5.184,72 €	21.867,31 €
49	1.259.140,22 €	11.899,84 €	6.742,48 €	5.157,36 €	28.609,78 €
50	1.252.370,27 €	11.899,84 €	6.769,95 €	5.129,89 €	35.379,73 €
51	1.245.572,75 €	11.899,84 €	6.797,53 €	5.102,31 €	42.177,25 €
52	1.238.747,52 €	11.899,84 €	6.825,22 €	5.074,62 €	49.002,48 €
53	1.231.894,50 €	11.899,84 €	6.853,03 €	5.046,81 €	55.855,50 €
54	1.225.013,55 €	11.899,84 €	6.880,95 €	5.018,89 €	62.736,45 €
55	1.218.104,56 €	11.899,84 €	6.908,98 €	4.990,86 €	69.645,44 €
56	1.211.167,43 €	11.899,84 €	6.937,13 €	4.962,71 €	76.582,57 €
57	1.204.202,04 €	11.899,84 €	6.965,39 €	4.934,45 €	83.547,96 €
58	1.197.208,27 €	11.899,84 €	6.993,77 €	4.906,07 €	90.541,73 €
59	1.190.186,01 €	11.899,84 €	7.022,26 €	4.877,57 €	97.563,99 €
60	1.183.135,13 €	11.899,84 €	7.050,87 €	4.848,97 €	104.614,87 €
61	1.176.055,53 €	11.899,84 €	7.079,60 €	4.820,24 €	111.694,47 €
62	1.168.947,09 €	11.899,84 €	7.108,44 €	4.791,40 €	118.802,91 €
63	1.161.809,69 €	11.899,84 €	7.137,40 €	4.762,44 €	125.940,31 €
64	1.154.643,20 €	11.899,84 €	7.166,48 €	4.733,36 €	133.106,80 €
65	1.147.447,52 €	11.899,84 €	7.195,68 €	4.704,16 €	140.302,48 €
66	1.140.222,53 €	11.899,84 €	7.225,00 €	4.674,84 €	147.527,47 €
67	1.132.968,10 €	11.899,84 €	7.254,43 €	4.645,41 €	154.781,90 €
68	1.125.684,11 €	11.899,84 €	7.283,99 €	4.615,85 €	162.065,89 €
69	1.118.370,45 €	11.899,84 €	7.313,66 €	4.586,18 €	169.379,55 €
70	1.111.026,99 €	11.899,84 €	7.343,46 €	4.556,38 €	176.723,01 €
71	1.103.653,61 €	11.899,84 €	7.373,38 €	4.526,46 €	184.096,39 €

72	1.096.250,19 €	11.899,84 €	7.403,42 €	4.496,42 €	191.499,81 €
73	1.088.816,61 €	11.899,84 €	7.433,58 €	4.466,26 €	198.933,39 €
74	1.081.352,75 €	11.899,84 €	7.463,87 €	4.435,97 €	206.397,25 €
75	1.073.858,47 €	11.899,84 €	7.494,27 €	4.405,56 €	213.891,53 €
76	1.066.333,67 €	11.899,84 €	7.524,81 €	4.375,03 €	221.416,33 €
77	1.058.778,20 €	11.899,84 €	7.555,46 €	4.344,38 €	228.971,80 €
78	1.051.191,96 €	11.899,84 €	7.586,25 €	4.313,59 €	236.558,04 €
79	1.043.574,80 €	11.899,84 €	7.617,15 €	4.282,69 €	244.175,20 €
80	1.035.926,62 €	11.899,84 €	7.648,19 €	4.251,65 €	251.823,38 €
81	1.028.247,27 €	11.899,84 €	7.679,35 €	4.220,49 €	259.502,73 €
82	1.020.536,64 €	11.899,84 €	7.710,63 €	4.189,21 €	267.213,36 €
83	1.012.794,59 €	11.899,84 €	7.742,05 €	4.157,79 €	274.955,41 €
84	1.005.021,00 €	11.899,84 €	7.773,59 €	4.126,25 €	282.729,00 €
85	997.215,75 €	11.899,84 €	7.805,26 €	4.094,58 €	290.534,25 €
86	989.378,69 €	11.899,84 €	7.837,06 €	4.062,78 €	298.371,31 €
87	981.509,70 €	11.899,84 €	7.868,99 €	4.030,85 €	306.240,30 €
88	973.608,65 €	11.899,84 €	7.901,05 €	3.998,79 €	314.141,35 €
89	965.675,42 €	11.899,84 €	7.933,24 €	3.966,60 €	322.074,58 €
90	957.709,86 €	11.899,84 €	7.965,56 €	3.934,28 €	330.040,14 €
91	949.711,85 €	11.899,84 €	7.998,01 €	3.901,83 €	338.038,15 €
92	941.681,25 €	11.899,84 €	8.030,60 €	3.869,24 €	346.068,75 €
93	933.617,94 €	11.899,84 €	8.063,31 €	3.836,53 €	354.132,06 €
94	925.521,77 €	11.899,84 €	8.096,16 €	3.803,68 €	362.228,23 €
95	917.392,63 €	11.899,84 €	8.129,15 €	3.770,69 €	370.357,37 €
96	909.230,36 €	11.899,84 €	8.162,27 €	3.737,57 €	378.519,64 €

97	901.034,84 €	11.899,84 €	8.195,52 €	3.704,32 €	386.715,16 €
98	892.805,92 €	11.899,84 €	8.228,91 €	3.670,93 €	394.944,08 €
99	884.543,49 €	11.899,84 €	8.262,44 €	3.637,40 €	403.206,51 €
100	876.247,39 €	11.899,84 €	8.296,10 €	3.603,74 €	411.502,61 €
101	867.917,49 €	11.899,84 €	8.329,90 €	3.569,94 €	419.832,51 €
102	859.553,65 €	11.899,84 €	8.363,84 €	3.536,00 €	428.196,35 €
103	851.155,74 €	11.899,84 €	8.397,91 €	3.501,93 €	436.594,26 €
104	842.723,62 €	11.899,84 €	8.432,13 €	3.467,71 €	445.026,38 €
105	834.257,14 €	11.899,84 €	8.466,48 €	3.433,36 €	453.492,86 €
106	825.756,17 €	11.899,84 €	8.500,97 €	3.398,87 €	461.993,83 €
107	817.220,56 €	11.899,84 €	8.535,61 €	3.364,23 €	470.529,44 €
108	808.650,18 €	11.899,84 €	8.570,38 €	3.329,46 €	479.099,82 €
109	800.044,88 €	11.899,84 €	8.605,30 €	3.294,54 €	487.705,12 €
110	791.404,52 €	11.899,84 €	8.640,36 €	3.259,48 €	496.345,48 €
111	782.728,96 €	11.899,84 €	8.675,56 €	3.224,28 €	505.021,04 €
112	774.018,06 €	11.899,84 €	8.710,90 €	3.188,93 €	513.731,94 €
113	765.271,67 €	11.899,84 €	8.746,39 €	3.153,45 €	522.478,33 €
114	756.489,64 €	11.899,84 €	8.782,03 €	3.117,81 €	531.260,36 €
115	747.671,83 €	11.899,84 €	8.817,81 €	3.082,03 €	540.078,17 €
116	738.818,10 €	11.899,84 €	8.853,73 €	3.046,11 €	548.931,90 €
117	729.928,30 €	11.899,84 €	8.889,80 €	3.010,04 €	557.821,70 €
118	721.002,28 €	11.899,84 €	8.926,02 €	2.973,82 €	566.747,72 €
119	712.039,89 €	11.899,84 €	8.962,39 €	2.937,45 €	575.710,11 €
120	703.040,99 €	11.899,84 €	8.998,90 €	2.900,94 €	584.709,01 €
121	694.005,43 €	11.899,84 €	9.035,56 €	2.864,28 €	593.744,57 €

122	684.933,05 €	11.899,84 €	9.072,37 €	2.827,46 €	602.816,95 €
123	675.823,72 €	11.899,84 €	9.109,34 €	2.790,50 €	611.926,28 €
124	666.677,27 €	11.899,84 €	9.146,45 €	2.753,39 €	621.072,73 €
125	657.493,55 €	11.899,84 €	9.183,71 €	2.716,13 €	630.256,45 €
126	648.272,42 €	11.899,84 €	9.221,13 €	2.678,71 €	639.477,58 €
127	639.013,73 €	11.899,84 €	9.258,70 €	2.641,14 €	648.736,27 €
128	629.717,31 €	11.899,84 €	9.296,42 €	2.603,42 €	658.032,69 €
129	620.383,02 €	11.899,84 €	9.334,29 €	2.565,55 €	667.366,98 €
130	611.010,69 €	11.899,84 €	9.372,32 €	2.527,52 €	676.739,31 €
131	601.600,19 €	11.899,84 €	9.410,51 €	2.489,33 €	686.149,81 €
132	592.151,34 €	11.899,84 €	9.448,85 €	2.450,99 €	695.598,66 €
133	582.664,00 €	11.899,84 €	9.487,34 €	2.412,50 €	705.086,00 €
134	573.138,01 €	11.899,84 €	9.525,99 €	2.373,85 €	714.611,99 €
135	563.573,20 €	11.899,84 €	9.564,80 €	2.335,04 €	724.176,80 €
136	553.969,43 €	11.899,84 €	9.603,77 €	2.296,07 €	733.780,57 €
137	544.326,53 €	11.899,84 €	9.642,90 €	2.256,94 €	743.423,47 €
138	534.644,35 €	11.899,84 €	9.682,19 €	2.217,65 €	753.105,65 €
139	524.922,72 €	11.899,84 €	9.721,63 €	2.178,21 €	762.827,28 €
140	515.161,48 €	11.899,84 €	9.761,24 €	2.138,60 €	772.588,52 €
141	505.360,47 €	11.899,84 €	9.801,01 €	2.098,83 €	782.389,53 €
142	495.519,53 €	11.899,84 €	9.840,94 €	2.058,90 €	792.230,47 €
143	485.638,50 €	11.899,84 €	9.881,03 €	2.018,81 €	802.111,50 €
144	475.717,21 €	11.899,84 €	9.921,29 €	1.978,55 €	812.032,79 €
145	465.755,51 €	11.899,84 €	9.961,71 €	1.938,13 €	821.994,49 €
146	455.753,21 €	11.899,84 €	10.002,29 €	1.897,55 €	831.996,79 €

147	445.710,17 €	11.899,84 €	10.043,04 €	1.856,80 €	842.039,83 €
148	435.626,21 €	11.899,84 €	10.083,96 €	1.815,88 €	852.123,79 €
149	425.501,16 €	11.899,84 €	10.125,04 €	1.774,80 €	862.248,84 €
150	415.334,87 €	11.899,84 €	10.166,29 €	1.733,54 €	872.415,13 €
151	405.127,16 €	11.899,84 €	10.207,71 €	1.692,13 €	882.622,84 €
152	394.877,85 €	11.899,84 €	10.249,30 €	1.650,54 €	892.872,15 €
153	384.586,80 €	11.899,84 €	10.291,06 €	1.608,78 €	903.163,20 €
154	374.253,81 €	11.899,84 €	10.332,98 €	1.566,85 €	913.496,19 €
155	363.878,73 €	11.899,84 €	10.375,08 €	1.524,76 €	923.871,27 €
156	353.461,38 €	11.899,84 €	10.417,35 €	1.482,49 €	934.288,62 €
157	343.001,58 €	11.899,84 €	10.459,79 €	1.440,05 €	944.748,42 €
158	332.499,18 €	11.899,84 €	10.502,41 €	1.397,43 €	955.250,82 €
159	321.953,98 €	11.899,84 €	10.545,20 €	1.354,64 €	965.796,02 €
160	311.365,82 €	11.899,84 €	10.588,16 €	1.311,68 €	976.384,18 €
161	300.734,52 €	11.899,84 €	10.631,30 €	1.268,54 €	987.015,48 €
162	290.059,92 €	11.899,84 €	10.674,61 €	1.225,23 €	997.690,08 €
163	279.341,82 €	11.899,84 €	10.718,10 €	1.181,74 €	1.008.408,18 €
164	268.580,05 €	11.899,84 €	10.761,77 €	1.138,07 €	1.019.169,95 €
165	257.774,44 €	11.899,84 €	10.805,61 €	1.094,23 €	1.029.975,56 €
166	246.924,81 €	11.899,84 €	10.849,63 €	1.050,20 €	1.040.825,19 €
167	236.030,97 €	11.899,84 €	10.893,84 €	1.006,00 €	1.051.719,03 €
168	225.092,75 €	11.899,84 €	10.938,22 €	961,62 €	1.062.657,25 €
169	214.109,97 €	11.899,84 €	10.982,78 €	917,06 €	1.073.640,03 €
170	203.082,44 €	11.899,84 €	11.027,53 €	872,31 €	1.084.667,56 €
171	192.009,98 €	11.899,84 €	11.072,46 €	827,38 €	1.095.740,02 €

172	180.892,42 €	11.899,84 €	11.117,57 €	782,27 €	1.106.857,58 €
173	169.729,55 €	11.899,84 €	11.162,86 €	736,98 €	1.118.020,45 €
174	158.521,21 €	11.899,84 €	11.208,34 €	691,50 €	1.129.228,79 €
175	147.267,21 €	11.899,84 €	11.254,00 €	645,84 €	1.140.482,79 €
176	135.967,36 €	11.899,84 €	11.299,85 €	599,98 €	1.151.782,64 €
177	124.621,46 €	11.899,84 €	11.345,89 €	553,95 €	1.163.128,54 €
178	113.229,35 €	11.899,84 €	11.392,12 €	507,72 €	1.174.520,65 €
179	101.790,82 €	11.899,84 €	11.438,53 €	461,31 €	1.185.959,18 €
180	90.305,69 €	11.899,84 €	11.485,13 €	414,71 €	1.197.444,31 €

ANEXO VI: CUADROS FINANCIEROS

Flujos de Caja

INGRESOS

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Venta de electricidad	224.694,00 €	218.118,55 €	212.768,66 €	207.811,20 €	206.794,95 €	205.701,44 €	201.549,34 €	200.510,42 €	199.320,13 €	189.922,69 €	186.515,49 €	183.133,69 €	179.777,29 €	176.446,29 €	173.140,68 €	169.860,47 €
Gestión de residuos	365.940,00 €	376.918,20 €	388.225,75 €	399.872,52 €	411.868,69 €	424.224,75 €	436.951,50 €	450.060,04 €	463.561,84 €	477.468,70 €	491.792,76 €	506.546,54 €	521.742,94 €	537.395,23 €	553.517,08 €	570.122,60 €
Fertilizante	132.443,90 €	136.417,22 €	140.509,73 €	144.725,03 €	149.066,78 €	153.538,78 €	158.144,94 €	162.889,29 €	167.775,97 €	172.809,25 €	177.993,53 €	183.333,33 €	188.833,33 €	194.498,33 €	200.333,28 €	206.343,28 €
Total	723.077,90 €	731.453,96 €	741.504,14 €	752.408,75 €	767.730,43 €	783.464,98 €	796.645,78 €	813.459,75 €	830.657,95 €	840.200,64 €	856.301,78 €	873.013,57 €	890.353,56 €	908.339,85 €	926.991,05 €	946.326,35 €

	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	
Venta de electricidad	166.605,67	163.376,26	160.172,24	156.993,63	153.840,41	150.712,60	147.610,18	144.533,16	141.481,53	138.455,31	135.454,48	132.479,06	129.529,03	126.604,40	5.183.913,25 €
Gestión de residuos	587.226,27	604.843,06	622.988,35	641.678,01	660.928,35	680.756,20	701.178,88	722.214,25	743.880,68	766.197,10	789.183,01	812.858,50	837.244,25	862.361,58	17.409.747,62 €
Fertilizante	212.533,58	218.909,59	225.476,87	232.241,18	239.208,42	246.384,67	253.776,21	261.389,49	269.231,18	277.308,11	285.627,36	294.196,18	303.022,06	312.112,73	6.301.073,60 €
Total	966.365,52 €	987.128,90 €	1.008.637,47 €	1.030.912,81 €	1.053.977,17 €	1.077.853,46 €	1.102.565,27 €	1.128.136,90 €	1.154.593,39 €	1.181.960,52 €	1.210.264,85 €	1.239.533,73 €	1.269.795,34 €	1.301.078,70 €	28.894.734,48 €

GASTOS

	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
Imp. Gen	- 15.728,58 €	- 15.268,30 €	- 14.893,81 €	- 14.546,78 €	- 14.475,65 €	- 14.399,10 €	- 14.108,45 €	- 14.035,73 €	- 13.952,41 €	- 13.294,59 €	- 13.056,08 €	- 12.819,36 €	- 12.584,41 €	- 12.351,24 €	- 12.119,85 €	- 11.890,23 €
Mantenimiento	- 73.000,00 €	- 74.460,00 €	- 75.949,20 €	- 77.468,18 €	- 79.017,55 €	- 80.597,90 €	- 82.209,86 €	- 83.854,05 €	- 85.531,13 €	- 87.241,76 €	- 88.986,59 €	- 90.766,32 €	- 92.581,65 €	- 94.433,28 €	- 96.321,95 €	- 98.248,39 €
Personal	- 140.000,00 €	- 144.200,00 €	- 148.526,00 €	- 152.981,78 €	- 157.571,23 €	- 162.298,37 €	- 167.167,32 €	- 172.182,34 €	- 177.347,81 €	- 182.668,25 €	- 188.148,29 €	- 193.792,74 €	- 199.606,52 €	- 205.594,72 €	- 211.762,56 €	- 218.115,44 €
Seguro	- 9.700,00 €	- 9.991,00 €	- 10.290,73 €	- 10.599,45 €	- 10.917,44 €	- 11.244,96 €	- 11.582,31 €	- 11.929,78 €	- 12.287,67 €	- 12.656,30 €	- 13.035,99 €	- 13.427,07 €	- 13.829,88 €	- 14.244,78 €	- 14.672,12 €	- 15.112,28 €
Intereses	- 65.282,11 €	- 62.240,83 €	- 58.546,95 €	- 54.668,39 €	- 50.595,89 €	- 46.319,77 €	- 41.829,85 €	- 37.115,43 €	- 32.165,29 €	- 26.967,64 €	- 21.510,11 €	- 15.779,70 €	- 9.762,77 €	- 3.360,46 €	-	-
Imp Soc	- 104.841,80 €	- 106.323,46 €	- 108.324,36 €	- 110.536,04 €	- 113.788,17 €	- 117.151,22 €	- 119.937,00 €	- 123.585,61 €	- 127.343,41 €	- 129.343,03 €	- 132.891,18 €	- 136.607,09 €	- 140.497,08 €	- 145.088,84 €	- 148.028,64 €	- 150.740,00 €
Total	- 408.552,49 €	- 412.483,58 €	- 416.531,05 €	- 420.800,63 €	- 426.365,92 €	- 432.011,32 €	- 436.834,78 €	- 442.702,94 €	- 448.627,72 €	- 452.171,56 €	- 457.628,24 €	- 463.192,28 €	- 468.862,32 €	- 473.073,32 €	- 482.905,12 €	- 494.106,35 €

	2042	2043	2044	2045	2046	2047	2048	2049	2050	2051	2052	2053	2054	2055	
Imp. Gen	- 11.662,40 €	- 11.436,34 €	- 11.212,06 €	- 10.989,55 €	- 10.768,83 €	- 10.549,88 €	- 10.332,71 €	- 10.117,32 €	- 9.903,71 €	- 9.691,87 €	- 9.481,81 €	- 9.273,53 €	- 9.067,03 €	- 8.862,31 €	- 362.873,93 €
Mantenimiento	- 100.213,36 €	- 102.217,62 €	- 104.261,98 €	- 106.347,22 €	- 108.474,16 €	- 110.643,64 €	- 112.856,52 €	- 115.113,65 €	- 117.415,92 €	- 119.764,24 €	- 122.159,52 €	- 124.602,71 €	- 127.094,77 €	- 129.636,66 €	- 2.961.469,78 €
Personal	- 224.658,90 €	- 231.398,67 €	- 238.340,63 €	- 245.490,85 €	- 252.855,57 €	- 260.441,24 €	- 268.254,48 €	- 276.302,11 €	- 284.591,17 €	- 293.128,91 €	- 301.922,78 €	- 310.980,46 €	- 320.309,87 €	- 329.919,17 €	- 6.660.558,20 €
Seguro	- 15.565,65 €	- 16.032,62 €	- 16.513,60 €	- 17.009,01 €	- 17.519,28 €	- 18.044,86 €	- 18.586,20 €	- 19.143,79 €	- 19.718,10 €	- 20.309,65 €	- 20.918,94 €	- 21.546,50 €	- 22.192,90 €	- 22.858,69 €	- 461.481,53 €
Intereses	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- €	- 524.145,16 €
Imp Soc	- 153.566,30 €	- 156.510,91 €	- 159.577,30 €	- 162.769,05 €	- 166.089,83 €	- 169.543,46 €	- 173.133,84 €	- 176.865,01 €	- 180.741,12 €	- 184.766,46 €	- 188.945,45 €	- 193.282,63 €	- 197.782,69 €	- 202.450,47 €	- 4.481.051,47 €
Total	- 505.666,61 €	- 517.596,17 €	- 529.905,56 €	- 542.605,67 €	- 555.707,67 €	- 569.223,08 €	- 583.163,75 €	- 597.541,88 €	- 612.370,03 €	- 627.661,13 €	- 643.428,50 €	- 659.685,84 €	- 676.447,27 €	- 693.727,30 €	- 15.451.580,07 €

Payback descontado

	VA Ingresos Ener	VA Ingresos Gest	VA Ingresos Fert	VA Impuesto Gen	VA Mantenimiento	VA Personal	VA Seguro	VA Intereses	VA Impto Sociedad	Desembolso Inicial	VAN
0											
1	202.008,45 €	328.993,98 €	119.072,10 € -	14.140,59 € -	65.629,78 € -	125.865,32 € -	8.720,67 € -	68.473,47 € -	94.256,77 € -	1.596.346,53 €	-1.323.358,59 €
2	378.306,99 €	633.645,42 €	229.333,96 € -	26.481,49 € -	125.813,51 € -	242.417,77 € -	16.796,09 € -	-133.735,64 € -	180.194,77 € -	1.596.346,53 €	-1.080.499,42 €
3	532.918,51 €	915.755,44 €	331.437,45 € -	37.304,30 € -	181.003,13 € -	350.346,40 € -	24.274,00 € -	-195.121,02 € -	258.910,28 € -	1.596.346,53 €	-863.194,24 €
4	668.681,44 €	1.176.991,91 €	425.986,23 € -	46.807,70 € -	231.613,05 € -	450.289,30 € -	31.198,62 € -	-252.435,76 € -	331.123,41 € -	1.596.346,53 €	-668.154,78 €
5	790.140,60 €	1.418.899,28 €	513.539,25 € -	55.309,84 € -	278.023,29 € -	542.837,35 € -	37.610,87 € -	-305.476,34 € -	397.955,86 € -	1.596.346,53 €	-490.980,95 €
6	898.759,58 €	1.642.907,72 €	594.614,16 € -	62.913,17 € -	320.582,36 € -	628.537,69 € -	43.548,68 € -	-354.029,04 € -	459.816,61 € -	1.596.346,53 €	-329.492,62 €
7	994.441,04 €	1.850.341,59 €	669.690,27 € -	69.610,87 € -	359.609,83 € -	707.896,99 € -	49.047,15 € -	-397.869,47 € -	516.754,27 € -	1.596.346,53 €	-182.662,20 €
8	1.080.018,91 €	2.042.427,26 €	739.211,43 € -	75.601,32 € -	395.398,74 € -	781.384,42 € -	54.138,78 € -	-436.762,02 € -	569.500,62 € -	1.596.346,53 €	-47.474,84 €
9	1.156.499,94 €	2.220.300,35 €	803.588,67 € -	80.955,00 € -	428.217,85 € -	849.434,47 € -	58.853,67 € -	-470.459,30 € -	618.363,50 € -	1.596.346,53 €	77.758,64 €
10	1.222.017,46 €	2.385.012,46 €	863.202,58 € -	85.541,22 € -	458.313,59 € -	912.449,43 € -	63.219,71 € -	-498.701,54 € -	662.982,89 € -	1.596.346,53 €	192.677,59 €
11	1.279.863,50 €	2.537.537,39 €	918.405,61 € -	89.590,45 € -	485.911,95 € -	970.801,86 € -	67.262,70 € -	-521.215,98 € -	704.197,85 € -	1.596.346,53 €	300.479,17 €
12	1.330.926,35 €	2.678.776,86 €	969.524,12 € -	93.164,84 € -	511.220,17 € -	1.024.836,75 € -	71.006,55 € -	-537.716,25 € -	742.287,76 € -	1.596.346,53 €	402.648,48 €
13	1.375.992,41 €	2.809.565,92 €	1.016.860,33 € -	96.319,47 € -	534.428,28 € -	1.074.873,55 € -	74.473,38 € -	-547.901,62 € -	777.507,17 € -	1.596.346,53 €	500.568,65 €
14	1.415.757,82 €	2.930.677,78 €	1.060.694,09 € -	99.103,05 € -	555.710,55 € -	1.121.208,09 € -	77.683,70 € -	-549.285,36 € -	810.205,60 € -	1.596.346,53 €	597.586,80 €
15	1.450.838,66 €	3.042.828,48 €	1.101.284,56 € -	101.558,71 € -	575.226,79 € -	1.164.114,30 € -	80.656,49 € -	-549.285,36 € -	840.198,38 € -	1.596.346,53 €	687.565,14 €
16	1.481.780,16 €	3.146.681,05 €	1.138.871,70 € -	103.724,61 € -	593.123,55 € -	1.203.845,84 € -	83.409,32 € -	-549.285,36 € -	867.656,93 € -	1.596.346,53 €	769.940,77 €
17	1.509.064,71 €	3.242.849,48 €	1.173.677,74 € -	105.634,53 € -	609.535,22 € -	1.240.637,61 € -	85.958,46 € -	-549.285,36 € -	890.266,95 € -	1.596.346,53 €	847.927,27 €
18	1.533.119,09 €	3.331.902,34 €	1.205.908,45 € -	107.318,34 € -	624.585,02 € -	1.274.707,13 € -	88.318,99 € -	-549.285,36 € -	913.310,52 € -	1.596.346,53 €	917.057,98 €
19	1.554.320,78 €	3.414.366,09 €	1.235.754,39 € -	108.802,45 € -	638.385,98 € -	1.306.255,82 € -	90.504,87 € -	-549.285,36 € -	934.433,46 € -	1.596.346,53 €	980.426,79 €
20	1.573.003,63 €	3.490.728,29 €	1.263.392,00 € -	110.110,25 € -	651.041,71 € -	1.335.470,19 € -	92.529,01 € -	-549.285,36 € -	953.803,61 € -	1.596.346,53 €	1.038.537,25 €
21	1.589.462,87 €	3.561.440,38 €	1.288.984,68 € -	111.262,40 € -	662.647,26 € -	1.362.522,96 € -	94.403,38 € -	-549.285,36 € -	971.573,41 € -	1.596.346,53 €	1.091.846,63 €
22	1.603.959,50 €	3.626.920,43 €	1.312.683,74 € -	112.277,16 € -	673.289,76 € -	1.387.574,08 € -	96.139,06 € -	-549.285,36 € -	987.881,32 € -	1.596.346,53 €	1.140.770,38 €
23	1.616.724,23 €	3.687.555,55 €	1.334.629,28 € -	113.170,70 € -	683.049,14 € -	1.410.771,65 € -	97.746,32 € -	-549.285,36 € -	1.002.853,24 € -	1.596.346,53 €	1.185.686,13 €
24	1.627.960,99 €	3.743.704,24 €	1.354.951,06 € -	113.957,27 € -	691.998,67 € -	1.432.252,81 € -	99.234,66 € -	-549.285,36 € -	1.016.603,64 € -	1.596.346,53 €	1.226.937,34 €
25	1.637.849,96 €	3.795.698,43 €	1.373.769,21 € -	114.649,50 € -	700.205,56 € -	1.452.144,56 € -	100.612,87 € -	-549.285,36 € -	1.029.236,70 € -	1.596.346,53 €	1.264.836,51 €
26	1.646.550,36 €	3.843.845,53 €	1.391.194,99 € -	115.258,53 € -	707.731,43 € -	1.470.564,50 € -	101.889,11 € -	-549.285,36 € -	1.040.847,25 € -	1.596.346,53 €	1.299.668,16 €
27	1.654.202,82 €	3.891.992,63 €	1.408.620,76 € -	115.794,20 € -	714.632,80 € -	1.487.621,54 € -	103.070,92 € -	-549.285,36 € -	1.051.521,67 € -	1.596.346,53 €	1.336.543,20 €
28	1.660.931,55 €	3.933.278,43 €	1.423.563,25 € -	116.265,21 € -	720.961,48 € -	1.503.416,51 € -	104.165,29 € -	-549.285,36 € -	1.061.338,66 € -	1.596.346,53 €	1.365.994,19 €
29	1.666.846,23 €	3.971.509,46 €	1.437.400,12 € -	116.679,24 € -	726.765,00 € -	1.518.042,80 € -	105.178,68 € -	-549.285,36 € -	1.070.370,00 € -	1.596.346,53 €	1.393.088,20 €
30	1.672.043,68 €	4.006.911,74 €	1.450.213,20 € -	117.043,06 € -	732.086,94 € -	1.531.586,88 € -	106.117,09 € -	-549.285,36 € -	1.078.681,14 € -	1.596.346,53 €	1.418.021,63 €

ANEXO VII: CERTIFICADO CURSO BIOPLAT



Curso de BIOGÁS y BIOMETANO

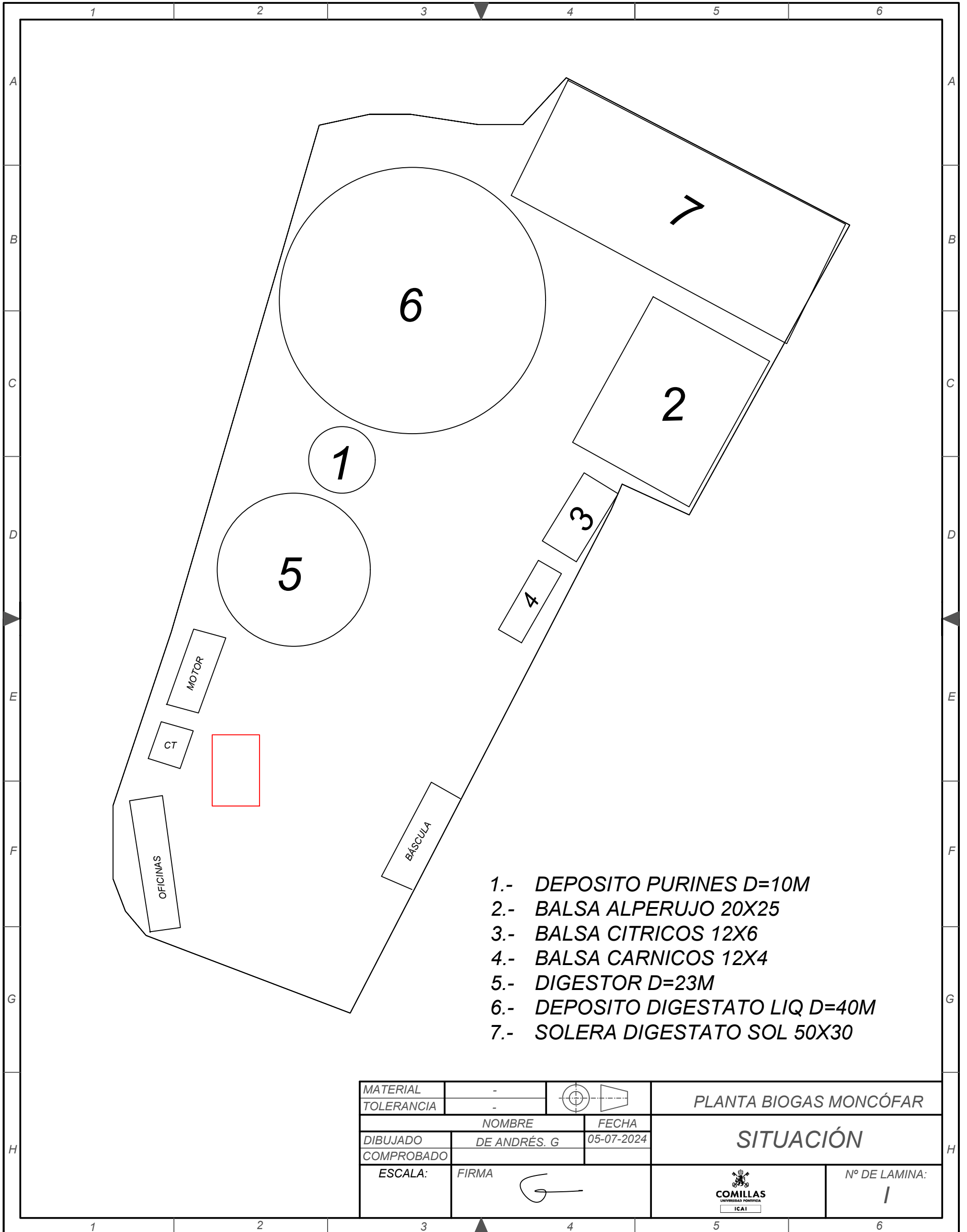
C E R T I F I C A D O D E A S I S T E N C I A

Se certifica que D./Dña. Gabriela De Andrés Martín

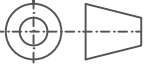


ha participado en el Curso de Biogás y Biometano organizado por BIOPLAT (Plataforma Española Tecnológica y de Innovación en Biocircularidad), BIOCIRC (Asociación Española de Biocircularidad) y CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas), celebrado del 18 al 22 de marzo de 2024, con 10 horas lectivas de duración.



ANEXO VIII: PLANO PLANTA DE BIOGÁS



- 1.- DEPOSITO PURINES D=10M
- 2.- Balsa ALPERUJO 20X25
- 3.- Balsa CITRICOS 12X6
- 4.- Balsa CARNICOS 12X4
- 5.- DIGESTOR D=23M
- 6.- DEPOSITO DIGESTATO LIQ D=40M
- 7.- SOLERA DIGESTATO SOL 50X30

MATERIAL	-		PLANTA BIOGAS MONCÓFAR	
TOLERANCIA	-		SITUACIÓN	
NOMBRE		FECHA		
DIBUJADO	DE ANDRÉS. G	05-07-2024		
COMPROBADO				
ESCALA:	FIRMA			Nº DE LAMINA:
				I

ANEXO IX: CÁLCULO OBJETIVO PRODUCCIÓN

INVIERNO

	Variables desconocidas	Cantidad Sólido Alimentada [to/día]
Purín de cerdo de cebo	x1	24
Lodos de empresas cítricas	x2	18
Alperujo	x3	11
Lodos de empresas cárnicas	x4	13
Total		66

Vamos cambiando los valores de x1,x2,x3, x4 hasta conseguir una producción de biogás cercana al objetivo

Humedad (%)	Humedad (to)
95%	22,8
75%	13,5
85%	9,35
75%	9,75
	55,4

DATOS CONOCIDOS:

Materia prima:	Produccion biogás por tonelada (m3/to*día)
Purín de cerdo de cebo	25
Lodos de empresas cítricas : pulpa de naranja	40
Alperujo	139
Mezclas de matadero	110

Total

Materia Humeda en digestor	83,939%
-----------------------------------	----------------

Objetivo produccion de biogás	178.12 m³/h			
Producción de biogas actual (calculada mediante iteración)	4279	m3/día	178,292	m3/h

La producción actual de biogás se calcula multiplicando la cantidad de sólido alimentada * la producción de biogás por tonelada de cada materia prima

	Humedad (%)	Materia seca (%)	Organica(%)	inertes (%)
Purín	0,95	0,05	0,74	0,26
Citricos	0,75	0,25	0,875	0,125
Alperujo	0,85	0,15	0,95	0,05
Carnicos	0,75	0,25	0,84	0,16

La media

80%

Materia prima

	Cantidad (to)	Humedad (to)	Materia seca (to)	Materia Organica	Sust inertes (to)	Materia organica degradada (biogas)	Materia org no degradada	Sust inertes (Digestato)	Humedad (digestato)
Purín	25	23,75	1,25	0,925	0,325	0,555	0,37	0,325	23,75
Citricos	19	14,25	4,75	4,15625	0,59375	2,49375	1,6625	0,59375	14,25
Alperujo	11	9,35	1,65	1,5675	0,0825	0,9405	0,627	0,0825	9,35
Carnicos	14	10,5	3,5	2,94	0,56	1,764	1,176	0,56	10,5
	69	57,85		9,58875	1,56125	5,75325	3,8355	1,56125	57,85

Cantidad biogas **179,79** m3

Digestato total 63,24675 **91,66% ES DIGESTATO**
Materia Degradada (pasa a s 5,75325 **8,34% ES BIOGAS**

DIGESTATO SOLIDO 6,324675

Total

Suma **69**

VERANO

	Variables desconocidas	Cantidad Sólido Alimentada [to/día]
Purín de cerdo de cebo	x1	25
Lodos de empresas cítricas	x2	19
Alperujo	x3	10
Lodos de empresas cárnicas	x4	14
Total		68

Vamos cambiando los valores de x1,x2,x3, x4 hasta conseguir una producción de biogás cercana al objetivo

Humedad (%)	Humedad (to)
95%	23,75
75%	14,25
85%	8,5
75%	10,5
	57

DATOS CONOCIDOS:

Materia prima:	Produccion biogás por tonelada (m3/to*día)
Purín de cerdo de cebo	25
Lodos de empresas cítricas : pulpa de naranja	40
Alperujo	139
Mezclas de matadero	110

Total

Materia Humeda en digestor 83,824%

Objetivo produccion de biogás

178.12 m³/h

Producción de biogas actual (calculada mediante iteración)

4315

m3/día

179,792 m3/h

La producción actual de biogás se calcula multiplicando la cantidad de sólido alimentada * la producción de biogás por tonelada de cada materia prima

>

ANEXO X: ALINEACIÓN OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de metas globales establecidas por las Naciones Unidas para resolver problemas mundiales y lograr un desarrollo bueno para todos. Estos objetivos fueron creados para orientar a todos los países hacia un futuro más justo y sostenible. Fueron aceptados por todos los países miembros de las Naciones Unidas en 2015 como parte de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.



La tecnología empleada en este proyecto se refiere a este ODS ya que se trata de una fuente de energía renovable: el biogás.

La producción y utilización de biogás son ejemplos de prácticas sostenibles, ya que aprovechan los recursos orgánicos disponibles, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y disminuyendo

la huella de carbono



Este proyecto se trata de una inversión con futura rentabilidad. La generación de empleo, y la inversión en la comunidad local son ejemplos de crecimiento económico.



La instalación de una planta de biogás implica el uso de tecnologías avanzadas para la producción de energía a partir de residuos orgánicos. Además, requiere el desarrollo de infraestructuras específicas como sistemas de digestión anaeróbicos y sistemas de recolección de residuos.



Este proyecto permitirá que las ciudades operen con una energía limpia y renovable.



La reducción de gases de efecto invernadero y la generación de energías renovables