

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**ESTUDIO DE IMPLANTACIÓN DE UNA
PLANTA DE BIOMETANO**
Study of Implementation of a Biomethane Plant

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Carlos Martínez Angulo

Tutor: Delfín Silió Salcines

Julio - 2022

Índice de Documentos

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA	36
DOCUMENTO II: PLANOS	103
DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES	110
DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO	179

Índice de contenidos

Índice de contenidos	3
Índice de figuras	11
Índice de tablas.....	13
DEFINICIONES ABREVIATURAS	15
DEFINICIONES	15
ABREVIATURAS	23
NORMATIVA GUÍAS TÉCNICAS.....	24
NORMATIVA	24
GUÍAS TÉCNICAS Y PROGRAMAS	26
RESUMEN.....	27
ABSTRACT	28
INTRODUCCIÓN	29
LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN	29
ANTECEDENTES.....	30
HISTORIAL ENERGÉTICO	31
DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA	36
Índice de Memoria Descriptiva	37
1 OBJETIVOS	40
1.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y MÁS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	40
1.2 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO	41
1.3 MEJORA DE LA GESTIÓN DEL RESIDUO.....	41

1.4	MEJORA ECONÓMICA	41
2	SITUACIÓN ACTUAL	42
2.1	PLANTA DE COGENERACIÓN	42
2.2	INVERNADERO	43
2.3	PLANTA DE COMPOSTAJE	45
2.4	PLATAFORMAS DE GANADERÍA	46
2.5	INSTALACIÓN AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO	47
3	COMBUSTIBLES EMPLEADOS EN LA ACTUALIDAD	48
3.1	COMBUSTIBLES TRADICIONALES	48
3.1.1	Gas Natural	48
3.1.2	Petróleo	49
3.1.3	Carbón	49
3.2	BIOCOMBUSTIBLES	50
3.2.1	Bioetanol	50
3.2.2	Biodiesel	51
3.2.3	Biogás	51
4	PLANTA DE BIOMETANO	54
4.1	ENTRADA DE RESIDUOS	54
4.1.1	Tipos de Residuos	54
4.1.2	Tratamiento de los Residuos	56
4.1.3	Propiedades de los Residuos	58
4.1.4	Parámetros ambientales del proceso	62
4.2	DIGESTIÓN ANAEROBIA	68
4.2.1	Parámetros Operacionales	68
4.2.2	Biodigestores	71

4.2.3 Etapas de la digestión anaerobia.....	74
4.3 OBTENCIÓN DE BIOMETANO UPGRADING	79
4.3.1 Tratamiento previo del biogás	79
4.3.2 Compresión y Recuperación del Calor	80
4.3.3 Separación mediante membranas en 3 etapas.....	80
4.3.4 Postratamiento	81
4.4 EL DIGESTATO	82
4.4.1 Separación sólido/líquido del digestato	82
4.4.2 Ósmosis inversa (membranas vibratorias)	83
4.4.3 Ósmosis inversa (membranas en espiral).....	84
4.4.4 Normativa para su empleo como fertilizante.....	85
4.5 USOS DEL BIOMETANO EN APAYCACHANA	86
4.5.1 Inyección a red de gas natural.....	86
4.5.2 Autoconsumo en planta de cogeneración.....	88
5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES	89
ANEXOS A LA MEMORIA.....	90
Índice de Anexos.....	91
ANEXO A. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOMETANO	92
A.1 Toneladas de los residuos y características	92
A.2 Parámetros Digestión Anaerobia	93
A.3 Volumen de Biogás obtenido anualmente	93
A.4 Volumen de Biometano obtenido anualmente.....	95
ANEXO B. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE	96
B.1 Volumen de Salida y de materia seca de los residuos.	96
B.2 Volumen de Agua vertida y Volumen de Concentrado de la Ósmosis.	97

ANEXO C. GASTOS E INGRESOS ANUALES	98
C.1 COSTES ANUALES	98
C.2 INGRESOS ANUALES	100
ANEXO D. DIAGRAMA DE FLUJOS PLANTA BIOMETANO	101
ANEXO E. ESTUDIO DE AMORTIZACIÓN	102
DOCUMENTO II: PLANOS.....	103
Índice de Planos.....	104
PLANO 1 LOCALIZACIÓN	105
PLANO 2 PLANTA ENERGÉTICO	106
PLANO 3 PLANTA Y SECCIONES INVERNADERO	107
PLANO 4 PLANTA Y SECCIONES COMPOSTAJE	108
PLANO 5 IMPLANTACIÓN PLANTA BIOMETANO	109
DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES.....	110
1 ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES.....	111
2 DISPOSICIONES GENERALES	112
3 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	115
3.1 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER FACULTATIVO	115
3.2 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER ECONÓMICO.....	124
3.3 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER LEGAL.....	126
3.4 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER TÉCNICO	126
4 TRABAJOS EN LA EJECUCION DE LAS OBRAS.....	128
4.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS.....	128
4.2. CIMENTACIONES Y SOLERAS	136
4.3 ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	139

4.4 ALBAÑILERÍA	148
4.5 MONTAJE MECÁNICO	155
4.6 MONTAJE ELÉCTRICO.....	166
DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO	179
Índice de Presupuestos.....	180
PRESUPUESTO DE DIGESTORES	181
PRESUPUESTO OTROS EQUIPAMIENTOS	181
PRESUPUESTO OTRAS INSTALACIONES	182
PRESUPUESTO SISTEMA SEPARADOR DE DIGESTATO E HIGIENIZACIÓN.....	183
PRESUPUESTO TOTAL DE LA DIGESTIÓN	183
RESUMEN CAPEX-OPEX	184
GASTOS ANUALES - OPEX	184
GASTOS EN INVERSIÓN - CAPEX	185

Índice de figuras

Figura 1.1 Vista aérea del Complejo Agro-ganadero.....	29
Figura 1.2 Representación esquemática de los objetivos propuestos.....	40
Figura 2.1 Moto-generadores de la planta de cogeneración	42
Figura 2.2 Plantas de cultivo del interior de los invernaderos.....	43
Figura 2.3 Interior planta de compostaje	45
Figura 2.4 Vista aérea planta de compostaje	46
Figura 2.5 Cabezas de ganado vacuno	47
Figura 2.6 Instalación fotovoltaica.	47
Figura 4.1 Sistema Multimix (WELTEC Biopower)	57
Figura 4.2 Actividad Metanogénica en función del pH.	63
Figura 4.3 Desarrollo de las bacterias en el digestor anaeróbico	66
Figura 4.4. Crecimiento en función de la temperatura de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos	69
Figura 4.5 Biodigestor (WELTEC Biopower).....	72
Figura 4.6 Interior Biodigestor (WELTEC Biopower)	73
Figura 4.7 Etapas del Proceso de Digestión Anaerobia.....	74
Figura 4.8 Etapa Hidrolítica	75
Figura 4.9 Etapa Acidogénica.	76
Figura 4.10 Etapa Acetogénica.	77
Figura 4.11 Etapa Metanogénica.....	78
Figura 4.12 Filtros carbón activo	80

Índice de tablas

Tabla 4.1 Toneladas de residuos empleados al año.....	55
Tabla 4.2 Porcentaje de Materia Seca y Volatilidad de cada residuo	55
Tabla 4.3 Composición Química de residuos de origen animal y vegetal	59
Tabla 4.4 Relación C/N de residuos animales y vegetales	60
Tabla 4.5 Sólidos totales de los residuos.....	61
Tabla 4.6 Rangos de Temperatura y Tiempos de Fermentación Anaeróbica	69
Tabla 4.7 Tiempo de Retención Hidráulico del estiércol en distintas regiones.	70
Tabla 4.8 Especificaciones de calidad del gas procedente de fuentes no convencionales introducido en el sistema gasista	87

DEFINICIONES | ABREVIATURAS

DEFINICIONES

- **Aceptor**

Que puede recibir o atrapar electrones que le son transferidos desde otro compuesto.

- **Acetato / Ácido Acético**

Es un compuesto químico orgánico, frecuente en diversos procesos de fermentación. Es un material inflamable, corrosivo y pertenece al grupo de los carboxílicos. Su fórmula molecular es $C_2H_4O_2$.

- **Aero-termos**

Dispositivo capaz de calentar un amplio espacio de forma rápida. Está compuesto de un ventilador y una batería de agua que calienta el aire que circula a través.

- **Aminoácidos**

Son compuestos orgánicos que se combinan para formar proteínas. Las proteínas por la acción de enzimas proteolíticas son hidrolizadas en aminoácidos.

- **Autoconsumo**

Generación de tu propia energía eléctrica con la que vas a dar suministro a equipamientos y accionamientos eléctricos asociados a los diversos procesos de la central, instalaciones de control, telecomunicaciones, instalaciones mecánicas fuerza y alumbrado.

- **Azúcares**

Sustancia orgánica soluble en agua que constituye las reservas energéticas de las células animales y vegetales. Los azúcares están compuestos por un número determinado de átomos de carbono, de oxígeno y el doble de hidrógeno.

- **Butírico (ácido)**

El ácido butírico es un ácido graso de cadena corta que contiene seis átomos de carbono. Se forma en la fermentación de carbohidratos únicamente en condiciones anaeróbicas.

- **Carbohidratos**

También conocidos como hidratos de carbono, son moléculas formadas por átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno. Su principal función es el almacenamiento y la obtención de energía.

- **Carbón activo**

Elemento poroso que atrapa compuestos, mayoritariamente orgánicos presentes en un gas o líquido. Empleado en la actualidad para potabilización de agua, purificación de aire, etc.

- **Cogeneración**

Es un proceso de generación simultánea de energía térmica útil y eléctrica y/o mecánica.

- **Complejo Agro-ganadero**

Recinto dedicado a la práctica de agricultura y ganadería para la producción de alimentos.

- **Compost**

Es un fertilizante compuesto principalmente por residuos orgánicos (excrementos de animales, hierbas, paja, etc.), hierba y cal.

- **Eficiencia**

Es el resultado de dividir la energía obtenida en el proceso de transformación de la energía por la energía aportada al mismo.

- **Emisiones de NO_x**

Los óxidos de nitrógeno son un grupo de gases compuestos por óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO₂). El término se refiere a la combinación de los dos

gases debido a las facilidades de interconversión mutua que presentan cuando hay oxígeno.

- **Energía Renovable**

Energía cuya fuente se basa en el empleo de recursos naturales inagotables (agua, viento, sol o biomasa). Al no utilizar combustibles fósiles, están caracterizadas por no producir gases de efecto invernadero ni otras emisiones contaminantes.

- **Enzimas**

Por lo general, se trata de proteínas que actúan de catalizadores de reacciones químicas, acelerando la velocidad de la reacción.

- **Gama de mantenimiento**

Conjunto de tareas de mantenimiento que tienen uno o varios elementos comunes.

- **Grupos moto-generadores**

Grupo formado por motor de combustión y alternador acoplado al cigüeñal.

- **Hidroponía**

Práctica de cultivo que prescinde de la tierra, sustituyéndola por una solución de agua rica en nutrientes que puede ser recuperada y reciclada.

- **Hidrolizar**

Reacción química que emplea agua para descomponer un compuesto, obteniendo compuestos más simples.

- **Índice de Wobbe**

Es la relación entre el poder calorífico (inferior o superior) de un gas por unidad de volumen y la raíz cuadrada de su densidad relativa con respecto al aire, bajo las mismas condiciones de referencia.

El índice de Wobbe es una forma de clasificar los combustibles gaseosos, por ejemplo el índice de Wobbe para el gas natural debería estar entre 9.680 y 13.850 kcal/Nm³.

- **Instalación Fotovoltaica**

Aquellas que disponen de módulos fotovoltaicos para la conversión directa de la radiación solar en energía eléctrica sin ningún paso intermedio

- **Intercambiador de Calor**

Dispositivo cuya función es transferir de manera continua de un fluido a otro, existiendo una diferencia de temperatura previa entre ambos medios

- **Lípidos**

También conocidos como grasas, son moléculas formadas mayoritariamente por carbono, hidrógeno y oxígeno. No son solubles en el agua, pero sí lo son en disolventes orgánicos, como el benceno.

- **Líquidos Lixiviados**

Líquido resultante del proceso de digestión aerobia de materia orgánica que posteriormente podrá ser tratado y reutilizado en el proceso.

- **Metanogénico (Bacterias / Microorganismos)**

Grupo especializado de bacterias que trabajan en un ambiente anaeróbico (en ausencia de oxígeno) encargadas de descomponer la materia orgánica y producir metano.

- **Overhaul**

Revisión general del motor, incluyendo todos sus componentes y sistemas principales, bloque, cigüeñal, eje de levas y casquillos, engranajes de la distribución y cambio de rodamientos, bomba de aceite, cambio de pistones, segmentos, camisas, bielas

- **Panel Fotovoltaico**

Conjunto de células solares directamente interconectadas y encapsuladas como único bloque, entre materiales que las protegen de los efectos de la intemperie.

- **Potencial Redox**

El potencial redox es una medida que expresa la actividad total de los electrones en una reacción química. En estas, se dan fenómenos de transferencia de electrones,

por lo que hay sustancias que los ceden y otras que los atrapan. Se mide en milivoltios (mV).

- **Propiónico (ácido)**

Líquido incoloro, corrosivo y oleoso que se emplea como conservante y agente microbiano. Puede encontrarse naturalmente en algunos alimentos.

- **Proteínas**

Son macromoléculas orgánicas, constituidas principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Las proteínas se agrupan para formar unidades estructurales llamadas aminoácidos.

- **Punto de Conexión**

El lugar concreto de la red donde se enlazan instalaciones correspondientes a distintas actividades, zonas de distribución o propietarios.

- **Radiación Solar**

Energía procedente del Sol que se propaga en todas las direcciones en forma de ondas electromagnéticas.

- **Régimen Especial**

Según la Ley 54/1997, del Sector Eléctrico, es la producción de energía eléctrica acogida a un régimen económico singular procedente de instalaciones con potencia instalada no superior a los 50 MW cuya generación proceda bien de la cogeneración o de otras formas de producción de electricidad asociadas a actividades no eléctricas, siempre que supongan un alto rendimiento energético, bien de grupos que utilicen como energía primaria alguna de las energías renovables no consumibles, biomasa o cualquier tipo de biocarburante, o de los que utilicen como energía primaria residuos no renovables o residuos de los sectores agrícola, ganadero y de servicios, con una potencia instalada igual o inferior a 25 MW, cuando supongan un alto rendimiento energético.

- **Régimen en Excedentes**

Incorporar al sistema la energía restante de la producción en barras de central menos el consumo de servicios auxiliares, percibiendo la retribución que se determine.

- **Régimen Todo-Todo**

Incorporar su producción de energía en barras de central al sistema, percibiendo la retribución que se determine.

- **Rendimiento (η)**

Expresa una relación entre la producción conjunta de energía eléctrica y calor respecto al combustible empelado para ello. Es un valor intrínseco y no comparativo de una planta de cogeneración

- **Rendimiento eléctrico**

Es el rendimiento eléctrico comparable con una planta de sólo generación de energía eléctrica, descontando del combustible consumido el necesario para producir por sistemas convencionales el calor. Este índice permite comparar la eficiencia eléctrica de una planta de cogeneración con el rendimiento eléctrico o global de una planta de sólo producción de energía eléctrica.

- **Retribución Específica**

El Real Decreto-ley 9/2013, por el que se adoptan medidas urgentes para garantizar la estabilidad financiera del sistema eléctrico, establece un nuevo régimen jurídico y económico para las instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de energías renovables, cogeneración y residuos.

Desaparece el régimen especial, pasando todas las instalaciones a regirse por la misma normativa y asumir las obligaciones del mercado. Pero este mantiene una retribución adicional a la venta de energía en el mercado, para aquellas instalaciones con derecho a prima con anterioridad al Real Decreto 9/2013.

- **Siloxanos**

Son una familia de compuestos orgánicos formados por cadenas de silicio, oxígeno y grupos metilos. Es un componente con gran influencia en el aprovechamiento energético del biogás, ya que produce daños en las máquinas empleadas, reduciendo su vida útil.

- **Sulfato**

Son las sales que derivan del ácido sulfúrico (H_2SO_4) principalmente de la reacción de este con bases. Son altamente solubles en disolventes como el agua. Utilizado en la fabricación de fertilizantes o pesticidas.

- **Sulfuro**

El sulfuro es la combinación química del azufre con un elemento químico o con un radical. En el proceso de digestión anaerobia puede el sulfuro de hidrógeno (H_2S), una de las múltiples combinaciones de los sulfuros.

- **Sustrato**

Es la especie química que se considera objeto de una reacción química, ya que el sustrato es la materia que reacciona con un reactivo para generar un producto.

- **Sustrato de Perlita**

Clase de cultivo hidropónico de procedencia mineral que posee una porosidad elevada y gran capacidad de aireación, de retención de agua y elementos nutritivos y debe ser químicamente inerte. Su estructura facilita el crecimiento de las raíces a través del sustrato.

- **Tarifa Regulada**

Sistema empleado para poder calcular el precio de la luz establecido por el Gobierno para todos los usuarios del mercado eléctrico regulado.

- **Upgrading**

Técnica de depuración y concentración del metano presente en el biogás con el fin de aumentar su porcentaje, convirtiéndolo en biometano, gas de origen renovable de composición y propiedades similares al gas natural.

- **Valérico (ácido)**

Es un ácido carboxílico, que se presenta como un líquido incoloro y olor característico poco miscible en agua, pero muy miscible en alcohol.

ABREVIATURAS

- **AGV:** Ácidos Grasos Volátiles
- **BOE:** Boletín Oficial del Estado
- **CBPA:** Código de Buenas Prácticas Agrarias
- **COV:** Compuestos Orgánicos Volátiles
- **CNMC:** Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
- **EDAR:** Estación Depuradora de Aguas Residuales
- **GEI:** Gases de Efecto Invernadero
- **GNL:** Gas Natural Licuado
- **IDAE:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
- **OMIE:** Operador del Mercado Ibérico de Energía
- **PLC:** Controlador Lógico Programable
- **PSS:** Plan de Seguridad y Salud
- **RO:** Ósmosis Inversa
- **RSU:** Residuos Sólidos Urbanos
- **S.A.:** Sociedad Anónima
- **S.L.:** Sociedad Limitada
- **SRB:** Bacterias Sulfato-Reductoras
- **TRH:** Tiempo de Retención Hidráulico
- **VCO:** Velocidad de Carga Orgánica
- **VSEP:** Vibratory Shear Enhanced Processing (Procesamiento Mejorado de Cizalla Vibratoria)

NORMATIVA | GUÍAS TÉCNICAS

NORMATIVA

- **Real Decreto 661/2007**, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial (BOE, 25 mayo 2007)
- **Orden ITC/1522/2007**, por la que se establece la regulación de la garantía del origen de la electricidad procedente de fuentes de energía renovables y de cogeneración de alta eficiencia. (BOE, 1 junio 2007)
- **Ley 54/2013**, del Sector Eléctrico. (BOE, 26 diciembre 2013)
- **Real Decreto 413/2014**, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energías renovables, cogeneración y residuos. (BOE, 6 junio 2014)
- **Real Decreto 900/2015**, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.
- **Real Decreto 1042/2017**, de 22 de diciembre, sobre la limitación de las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión medianas y por el que se actualiza el anexo IV de la Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- **Real Decreto 15/2018**, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- **Real Decreto 244/2019**, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica. (BOE, 5 abril 2019)
- **Directiva 2019/944**, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE. (BOE, 5 junio 2019)
- **Directiva 2018/2001**, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. (BOE, 11 diciembre 2018)
- **Reglamento 2017/1938**, sobre medidas para garantizar la seguridad del suministro de gas y por el que se deroga el Reglamento (UE) 994/2010. (BOE, 25 octubre 2017)
- **Resolución de 8 de Octubre de 2018**, de la Dirección General de Política Energética y Minas, por la que se modifican las normas de gestión técnica del sistema NGTS-06, NGTS-07 y los protocolos de detalle PD-01 y PD-02. (BOE, 8 Octubre 2018)

- **Real Decreto 732/2019**, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. (BOE, 20 Diciembre 2019)
- **Orden TED/171/2020**, por la que se actualizan los parámetros retributivos de las instalaciones tipo aplicables a determinadas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, a efectos de su aplicación al periodo regulatorio que tiene su inicio el 1 de enero de 2020. (BOE, 24 febrero 2020)
- **Real Decreto 960/2020**, por el que se regula el régimen económico de energías renovables para instalaciones de producción de energía eléctrica. (BOE, 3 Noviembre 2020)
- **Real Decreto-ley 29/2021**, por el que se adoptan medidas urgentes en el ámbito energético para el fomento de la movilidad eléctrica, el autoconsumo y el despliegue de energías renovables. (BOE, 21 diciembre 2021)

GUÍAS TÉCNICAS Y PROGRAMAS

- **Hoja de Ruta del Biogás** (MITECO, 2021)
- **Guía Técnica de compañía diseñadora de Biodigestores (Estimación del Rendimiento Técnico)**
- **IDAE. Energías Renovables, Biogás.**
- **AutoCAD**, Aplicación Software. (AUTODESK, 2019)
- **Microsoft Office**, (MICROSOFT, 2018)
- **Excel Office**, Realización de Cálculos
- **Lucid Chart**, Creación de Esquemas y Figuras

RESUMEN

Es objeto de este documento el estudio técnico-económico de la implantación de una planta de biometano en el Complejo Agro-ganadero propiedad de la empresa APAYCACHANA-6, S.L. con el fin de valorizar los residuos orgánicos procedentes de sus actividades agrícola y ganadera, además de la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones y un aumento de los beneficios económicos.

En el marco del creciente interés por las energías renovables, la obtención de biocombustibles, como el biogás, a partir de residuos se plantea como una de las grandes alternativas actuales para sustituir las fuentes energéticas provenientes de recursos fósiles como el carbón o el petróleo.

En este estudio, se llevan a cabo observaciones acerca de la obtención del biogás, un compuesto formado mayoritariamente por metano y dióxido de carbono. Sin embargo, el valor porcentual del metano presente en la mezcla puede ser incrementado mediante una técnica llamada “Upgrading”, la cual concentra el metano presente en el biogás dando lugar a un gas de similares propiedades al gas natural, conocido como biometano, que puede ser empleado en la planta de cogeneración de la propia empresa o ser vendido en el mercado gasista.

Además, se han efectuado balances energéticos y económicos, donde se podrá observar los grandes beneficios a obtener, resultado de la instalación de la planta de biometano.

Finalmente, se plantean una serie de conclusiones acerca de los resultados obtenidos y los balances realizados para determinar la viabilidad del proyecto.

ABSTRACT

The purpose of this document is to carry out a study on the implementation of a biomethane plant in the Agro-livestock Complex owned by the company APAYCACHANA-6, S.L. in order to reduce waste from both the livestock and agricultural sectors, in addition to improving the energy efficiency of the facilities and increasing economic benefits.

Within the framework of the growing interest in renewable energies, obtaining biofuels, such as biogas, from organic waste is considered one of the great current alternatives to replace energy sources from fossil resources such as coal or petroleum.

In this study, observations have been made about obtaining biogas, a compound formed mainly by methane and carbon dioxide. However, the percentage value of methane present in the mixture can be increased through a technique called "Upgrading", which concentrate biogas into a mixture with similar properties to natural gas, known as biomethane, which can be used in the cogeneration plant of the company itself or be sold on the international market.

In addition, energy and economic balances have been made, where the great benefits obtained, because of the disposal of the biomethane plant, can be observed.

Finally, a series of conclusions are raised about the results and balances made and to determine the viability of the project.

INTRODUCCIÓN

LOCALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN

El complejo Agro-ganadero está ubicado en el Polígono Industrial de Vidanes, localidad de Vidanes, en el Municipio de Cistierna, Provincia de León.

- Referencia catastral: 24058A211050010000JH
- Latitud: 42°44'54,2"N
- Longitud: 5°08'10,8"W

Dicha localización se puede ver con más detalle en el plano nº1.



Figura 1.1 Vista aérea del Complejo Agro-ganadero

ANTECEDENTES

En el año 2009 la empresa Apaycachana-6 S.L. (APAYCACHANA) se apropia del complejo agro-ganadero en estudio, que se encontraba en un proceso concursal desde el año 2004, además de los correspondientes derechos de explotación de las instalaciones.

Una vez realizado del cambio de titularidad de las instalaciones, se planteó el nuevo comienzo de las actividades del complejo agro-ganadero en diferentes fases.

Durante los años 2009 y 2010 se realizan todos los trámites necesarios para la puesta en marcha de la planta de cogeneración (7,56 MW) de 12 motores de gas e invernadero anexo de 4 hectáreas, consiguiendo en 2011 disponer de la inscripción definitiva en el Registro de Instalaciones de Producción en Régimen Especial y Licencia Ambiental del conjunto cogeneración e invernadero.

Ya iniciada la producción en el invernadero, surgió la necesidad de modificar parte de las instalaciones existentes y realizar una mini central hortícola con el fin de poder seleccionar y envasar toda la producción proveniente del invernadero, para ello se tramitó esta nueva actividad recibiendo Licencia de Apertura en abril de 2012.

Las instalaciones en las que se ubican las cabezas de ganado, que también pertenecen al complejo agro-ganadero propiedad de APAYCACHANA, están explotadas por una gran empresa ganadera, la cual hace uso de las 57 naves existentes para la cría de ganado, y ha sido la responsable de tramitar las autorizaciones para el inicio de esta actividad, siendo APAYCACHANA la empresa encargada del mantenimiento integral de las instalaciones y la gestión de los residuos, los cuales posteriormente se emplearían para la producción de abono.

HISTORIAL ENERGÉTICO

La planta de cogeneración CISENER es la actividad que ha dado pie a las diferentes configuraciones energéticas que ha tenido el complejo agro-ganadero:

- **2010: Puesta en marcha de planta de cogeneración e invernadero.**

La planta de cogeneración comenzó su funcionamiento en Régimen de Excedentes. Toda la energía eléctrica demandada por las instalaciones del complejo agro-ganadero era autoconsumo de la producción de la cogeneración y la energía eléctrica sobrante se vertía a la red, vendiéndose bajo Tarifa Regulada, fija para todos los periodos de programación.

- **2013-2014: Nueva normativa para el Régimen Especial.**

A lo largo del año 2013 se publicó el borrador de lo que sería la nueva normativa para el denominado “Régimen Especial”, este borrador adelantaba lo que posteriormente sería la nueva normativa que no resultaría nada favorable para la continuidad de la planta de cogeneración, instalación fundamental para el futuro del complejo agro-ganadero.

El borrador sobre la nueva normativa y el fin del contrato de suministro de gas hace que los encargados de la empresa decidan parar el funcionamiento de la planta de cogeneración en marzo de 2014 hasta ver cuál es el alcance de la nueva normativa y valorar la viabilidad de la planta en las nuevas condiciones.

Finalmente, el 10 de junio se publica la nueva normativa, el Real Decreto 413/2014, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos, confirmando lo que lo anunciado previamente, una nuevas condiciones que serán mucho más restrictivas para la cogeneración que para otras tecnologías del sector.

- **2014: Firma contrato “Tooling”**

Desde la parada de la planta el 31 de marzo de 2014 se estuvieron estudiando formas de poder volver a poner la planta en marcha en caso de que se confirmasen las nuevas condiciones de trabajo de las plantas de cogeneración.

La gestión de la planta de cogeneración hasta la parada era la siguiente:

- Compra de gas

Se realizaba la compra de gas anualmente a una empresa comercializadora de gas, realizando negociaciones y comparativas de precios todos los años.

- Operación diaria y mantenimiento

Tanto la operación diaria como el mantenimiento de la planta era realizado por el equipo de mantenimiento de la empresa, equipo formado por 7 personas.

- Venta de energía eléctrica

La venta de los excedentes de electricidad se realizaba a partir de un Representante de Mercado, la figura del Representante la realiza una empresa habilitada por OMIE para ello, la empresa Representante es la encargada de incluir la energía producida en la subasta del mercado y cobrar las retribuciones correspondientes.

A consecuencia de la publicación de la nueva normativa, esta manera de gestionarse dejó tener viabilidad, por lo que hubo que buscar alternativas a la forma tradicional de tramitar las pequeñas plantas de cogeneración, la única solución fue la de firmar un acuerdo de “TOOLING” con una empresa multinacional energética.

Los TOOLING son acuerdos/contratos a medida, cada caso es diferente, en el caso de APAYCACHANA el acuerdo consistió en:

- APAYCACHANA pone el activo (planta de cogeneración).

- APAYCACHANA se encarga de la operación diaria y del mantenimiento de la planta.
- Multinacional se encarga del suministro de gas.
- Multinacional realiza la venta de la electricidad.
- Finalmente se reparten los beneficios.

El Acuerdo de “Tooling” mitiga los riesgos de mercado a cambio de ingresos fijos. A cambio de recibir un pago fijo, APAYCACHANA cedió la gestión de la cogeneración a una multinacional (gestión del día a día y a plazo), con lo que se pone en valor la flexibilidad de la instalación.

Este acuerdo supuso un gran apoyo financiero para APAYCACHANA. El gas se paga en el momento de percibir los ingresos eléctricos, no afecta el retraso en el pago de la CNMC (Retribución específica).

- **2017: Cambio configuración planta de cogeneración de régimen de Autoconsumo a régimen de “Todo-todo”.**

Con la entrada en vigor del Real Decreto 900/2015, el conocido “impuesto al sol”, derogado actualmente por el Real Decreto 15/2018, APAYCACHANA se ve obligada a adoptar una nueva descripción de autoconsumo y acomodar su configuración en base a esta.

Debido a los costes de adecuación de la configuración de medida y la posible aplicación de un Peaje de Autoconsumo, APAYCACHANA decide modificar la instalación para una nueva configuración Todo-Todo, por la cual la planta de cogeneración cederá a la red la energía neta generada (diferencia entre la energía bruta generada y los consumos propios de la planta de cogeneración) a través de su propio punto de acceso, y el resto de instalaciones del complejo, pasa a adquirir toda su demanda energética a través del segundo punto de acceso de las instalaciones.

- **2017: Compra de energía eléctrica directamente en el Mercado Diario**

Debido al cambio en el modelo de funcionamiento de la cogeneración, de excedentes a todo-todo, fue necesario actualizar las potencias contratadas de los dos contratos de suministro, disminuyendo las potencias correspondientes a la línea de suministro de la cogeneración y aumentado las potencias correspondientes al resto de instalaciones del complejo agro-ganadero.

Aprovechando la necesidad de actualizar los contratos y teniendo en cuenta el aumento de la compra de energía eléctrica, APAYCACHANA comienza a comprar toda la energía directamente al Mercado Eléctrico, para pagar por esta energía el precio real de cada hora.

Por lo tanto, la empresa pasa a ser un consumidor directo con representante en nombre propio, de esta manera el representante compra en la subasta diaria del mercado eléctrico la energía solicitada por APAYCACHANA.

- **2020: Instalación de autoconsumo fotovoltaico**

En abril del año 2020, se llevó a cabo la instalación de autoconsumo fotovoltaico con el principal objetivo de apostar por una energía limpia que reduzca el gasto en energía eléctrica de las instalaciones de APAYCACHANA.

Esta instalación se mantiene conectada constantemente a la red eléctrica, de forma que nunca se queda sin el abastecimiento energético requerido. Por lo tanto, cada kWh consumido por la empresa, generado por los paneles fotovoltaicos y no comprados a la red, supone un gran ahorro económico, más del 20% del suministro.

Este proyecto se realizó aprovechando la normativa que favoreció la regulación administrativa del autoconsumo de origen renovable, como el Real Decreto 15/2018, o el más actual, el Real Decreto 244/2019, basados en medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores, que exime de cargos y peajes a la energía autoconsumida de origen renovable.

- **2022: Renovación de Equipos en la planta de cogeneración.**

Este año han entrado en funcionamiento los nuevos equipos de la planta de cogeneración, un total de 6 motores de combustión interna a gas natural.

Dos motivos principales fueron los precedentes por los que se han renovado los motores de la planta de cogeneración:

- Vida útil de Equipos: La durabilidad de los motores antiguos ya había llegado a su fin, por este motivo hubiera sido necesario realizar un overhaul de los motores, que consiste en un proceso de revisión y mantenimiento integral de los motores muy costoso, que implica la parada de los motores durante un gran periodo de tiempo.
- Nivel Emisiones NO_x: Para poder tener en marcha la planta de cogeneración a partir del 1 de enero de 2025 se debe cumplir con los niveles de emisión indicados en el Real Decreto 1042/2017 de 22 de diciembre.

Teniendo en cuenta este par de premisas, la alternativa de la renovación de los equipos de la planta de cogeneración era la más viable y beneficiosa económicamente, además de que los antiguos motores no podían cumplir con la normativa de emisiones establecida, nunca hubieran llegado a aprovechar los 13 años restantes de vida regulatoria.

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA

Índice de Memoria Descriptiva

DOCUMENTO I: MEMORIA DESCRIPTIVA	36
Índice de Memoria Descriptiva	37
1 OBJETIVOS	40
1.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y MÁS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS	40
1.2 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO	41
1.3 MEJORA DE LA GESTIÓN DEL RESIDUO	41
1.4 MEJORA ECONÓMICA	41
2 SITUACIÓN ACTUAL	42
2.1 PLANTA DE COGENERACIÓN	42
2.2 INVERNADERO	43
2.3 PLANTA DE COMPOSTAJE	45
2.4 PLATAFORMAS DE GANADERÍA	46
2.5 INSTALACIÓN AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO	47
3.1 COMBUSTIBLES TRADICIONALES	48
3.1.1 Gas Natural	48
3.1.2 Petróleo	49
3.1.3 Carbón	49
3.2 BIOCOMBUSTIBLES	50
3.2.1 Bioetanol	50
3.2.2 Biodiesel	51
3.2.3 Biogás	51
4.1 ENTRADA DE RESIDUOS	54

4.1.1 Tipos de Residuos.....	54
4.1.2 Tratamiento de los Residuos.....	56
4.1.3 Propiedades de los Residuos.....	58
4.1.4 Parámetros ambientales del proceso	62
4.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	68
4.2.1 Parámetros Operacionales.....	68
4.2.2 Biodigestores	71
4.2.3 Etapas de la digestión anaerobia.....	74
4.3 OBTENCIÓN DE BIOMETANO UPGRADING.....	79
4.3.1 Tratamiento previo del biogás	79
4.3.2 Compresión y Recuperación del Calor	80
4.3.3 Separación mediante membranas en 3 etapas.....	80
4.3.4 Postratamiento	81
4.4 EL DIGESTATO	82
4.4.1 Separación sólido/líquido del digestato	82
4.4.2 Ósmosis inversa (membranas vibratorias).....	83
4.4.3 Ósmosis inversa (membranas en espiral).....	84
4.4.4 Normativa para su empleo como fertilizante.....	85
4.5 USOS DEL BIOMETANO EN APAYCACHANA	86
4.5.1 Inyección a red de gas natural.....	86
4.5.2 Autoconsumo en planta de cogeneración.....	88
ANEXOS A LA MEMORIA.....	90
Índice de Anexos.....	91
ANEXO A. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOMETANO	92
A.1 Toneladas de los residuos y características	92

A.2 Parámetros Digestión Anaerobia	93
A.3 Volumen de Biogás obtenido anualmente	93
A.4 Volumen de Biometano obtenido anualmente.....	95
ANEXO B. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE	96
B.1 Volumen de Salida y de materia seca de los residuos.	96
B.2 Volumen de Agua vertida y Volumen de Concentrado de la Ósmosis.	97
ANEXO C. GASTOS E INGRESOS ANUALES	98
C.1 COSTES ANUALES	98
C.2 INGRESOS ANUALES	100
ANEXO D. DIAGRAMA DE FLUJOS PLANTA BIOMETANO	101
ANEXO E. ESTUDIO DE AMORTIZACIÓN	102

1 OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio es valorar la alternativa tecnológica de la utilización de una planta de biometano para el aprovechamiento de los residuos generados por las diversas actividades del complejo agro-ganadero propiedad de APAYCACHANA-6 S.L., teniendo en consideración los condicionantes administrativos, técnicos y económicos.

Este objetivo principal se puede articular en los siguientes objetivos secundarios (Figura 1.2):

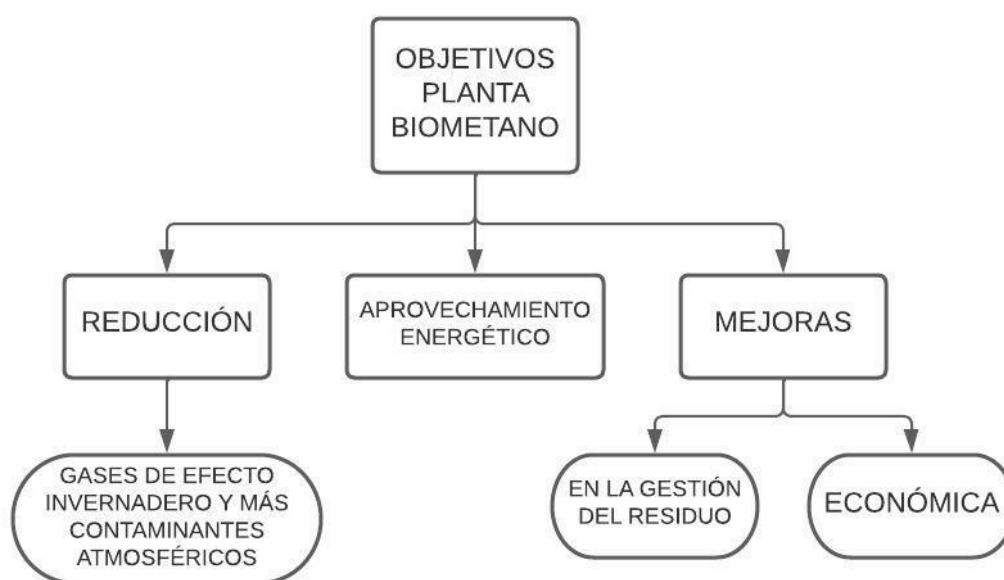


Figura 1.2 Representación esquemática de los objetivos propuestos.

1.1 REDUCCIÓN DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y MÁS CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Actualmente en APAYCACHANA se lleva a cabo una digestión aerobia de los residuos como el estiércol o los procedentes de los invernaderos con el objetivo de producir un abono orgánico, de forma que los gases resultantes de dicha digestión son emitidos a la atmósfera. Dichos gases están compuestos mayoritariamente por metano y dióxido de carbono, que son muy perjudiciales para el medio ambiente. Sin embargo, si se realizara una digestión anaerobia, esos gases no serían emitidos a la atmósfera.

1.2 APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO

Atendiendo a lo comentado anteriormente, no solo podrá evitarse la emisión a la atmósfera de gases contaminantes, sino que el cambio de digestión aerobia por la anaerobia también permitirá la producción de biogás que posteriormente será tratado y convertido en biometano, resultando un efectivo aprovechamiento energético del proceso de la digestión de los residuos.

1.3 MEJORA DE LA GESTIÓN DEL RESIDUO

Ya que la principal materia prima empleada en la obtención de biogás proviene de origen residual, todos los residuos procedentes de la ganadería y de los invernaderos, además de los provenientes de depuradoras, van a poder ser empleados para su digestión anaerobia, resultando una mejor valorización y aprovechamiento de los residuos, previo proceso del actual compostaje.

1.4 MEJORA ECONÓMICA

La producción de biometano se puede vender directamente al mercado gasista, lo cual proporcionará un gran beneficio económico a APAYCACHANA. Pero también podría ser aprovechado para su autoconsumo en la planta de cogeneración, esta segunda alternativa aún no está encima de la mesa ya que resulta más barato emplear el gas natural comprado en el mercado. Los resultados económicos de esta nueva actividad para APAYACACHANA se pueden ver con detalle en el apartado 5 Resultados y Conclusiones.

2 SITUACIÓN ACTUAL

2.1 PLANTA DE COGENERACIÓN



Figura 2.1 Moto-generadores de la planta de cogeneración

La planta de cogeneración, denominada CISENER, produce conjuntamente energía eléctrica y térmica a partir de 6 moto-generadores de gas natural.

CISENER cede el calor procedente de la refrigeración de los motores y de los gases de escape de los motores al invernadero y al resto de instalaciones del complejo en forma de agua caliente mediante el empleo de intercambiadores de calor. Por otro lado, la energía eléctrica producida es vertida a la red de distribución.

La producción de la planta está condicionada por dos factores:

- Las necesidades térmicas del cultivo que se realiza en el invernadero.
- La situación en cada momento de los mercados eléctrico y gasista.

Los equipos principales, grupos moto-generadores, se pusieron en marcha este mismo año, y cuentan con una vida útil de 80.000 horas según fabricante. Teniendo en cuenta que este tipo de motores suelen trabajar aproximadamente 7.100 horas al año, resulta una vida útil de entre 11 y 13 años.

Actualmente, el rendimiento de los nuevos equipos es considerablemente mayor que el de los antiguos equipos, lo cual provoca un menor consumo de gas natural para la misma energía eléctrica producida.

- Rendimiento eléctrico actual: 43,2%
- Rendimiento eléctrico antiguo: 35,39%

CISENER se sitúa en el centro del complejo agro-ganadero, dividida en dos edificios idénticos, denominados Energético I y Energético II. Cada edificio, con una superficie de 500 m², alberga 3 grupos moto-generadores, junto con el resto de los equipos necesarios para el funcionamiento, como son las calderas, bombas, intercambiadores, torres de refrigeración, etc.

Se puede comprobar la implantación de equipos de cogeneración en el plano nº2.

2.2 INVERNADERO



Figura 2.2 Plantas de cultivo del interior de los invernaderos.

Bajo la marca NUESTRA HUERTINA se explotan las 4 hectáreas de invernadero y la sala hortícola. Estas instalaciones están situadas al oeste del complejo agro-ganadero y se dedican al cultivo en hidroponía de tomate principalmente.

La marca en cuestión, NUESTRA HUERTINA, actúa en dos ciclos de cultivo de entre 5 y 6 meses de duración en los que se cultivan 60.000 plantas sobre sustrato de perlita, llegando a producir 1000 toneladas de tomate al año que se distribuyen por todo el territorio nacional.

El tipo de invernadero es un invernadero multitúnel de 352.5 m de longitud y 112 m de anchura, con 14 capillas y altura bajo canal de 3.50 m.

Carlos Martínez Angulo

El invernadero está dividido en 3 instalaciones idénticas, denominadas módulos A, B y C. Cada módulo tiene adjunto un edificio auxiliar que dispone de servicio y salida de emergencia y contiene los depósitos, bombas y equipos de control necesarios para el adecuado desarrollo del cultivo.

Las 14 capillas, además de por cada módulo, se encuentran divididas transversalmente por un pasillo central a través del cual se distribuye la instalación de riego y de aero-termos, y longitudinalmente por dos pasillos a través de los cuales se accede al cuidado de las plantas. Estas además cuentan con ventilación lateral gracias a su cubierta articulada.

Lo anteriormente descrito se puede comprobar en el plano nº3.

La superficie de cultivo dispone de suelo radiante, que junto con los aero-termos climatiza el invernadero con el agua procedente de la cogeneración.

La mini central hortícola de NUESTRA HUERTINA, anexa al extremo norte del invernadero, se dedica al almacenamiento, control de calidad y envasado del tomate en fresco, para ello cuenta con una cámara frigorífica, una máquina calibradora y etiquetadora y báscula.

2.3 PLANTA DE COMPOSTAJE



Figura 2.3 Interior planta de compostaje

La planta de compostaje, gestionada bajo las marcas ABONO VIVO, ABONO TERRA y GERCYL, es la encargada de producir compost a partir de todos los residuos orgánicos que genera el complejo agro-ganadero, como el estiércol procedente de la ganadería y los residuos vegetales del invernadero y de la central hortícola.

Estas instalaciones cuentan con una nave de almacenamiento con una superficie de 2.735 m² de planta rectangular la cual está dividida por la mitad por un pasillo central con cuatro trincheras impermeabilizadas dedicadas al almacenamiento de lodos y residuos líquidos, que posteriormente serán compostados en la nave de maduración anexa a esta.

La nave de maduración dispone de una superficie de 8.840 m² de planta rectangular y en ella se realiza el proceso de compostaje, pudiéndose realizar dos mesetas de 3,6 m de alto, 24 m de ancho y 160 m de largo, que se riegan y voltean hasta obtener el compost.

Seguida a la nave de maduración, se encuentra la zona dedicada al almacenamiento de los residuos más sólidos. Esta zona está cubierta por una estructura de toldo de 140 m de largo y 16 m de ancho, y posee un muro de contención que facilita la recogida de los líquidos lixiviados que recorren toda la solera desde la nave de maduración.

La planta de compostaje también cuenta con una zona dedicada al lavado de vehículos, el lavado se realiza con agua a presión sobre una losa de hormigón de 340 m², que facilita la recogida del agua de limpieza para almacenarla en el depósito de lixiviados.

Al depósito de lixiviados de 50 m³ le llegan, además de las aguas de limpieza, los líquidos decantados en el proceso de compostaje y de almacenamiento, para ser aprovechados en el riego de las mesetas en proceso de compostaje.

En el plano nº 4 se puede comprobar la distribución de la planta de compostaje.



Figura 2.4 Vista aérea planta de compostaje

2.4 PLATAFORMAS DE GANADERÍA

Las plataformas en las que se encuentra el ganado están gestionadas una gran empresa ganadera y APAYCACHANA, la primera se dedica a la cría de ganado y la segunda realiza el mantenimiento y gestiona el residuo de las instalaciones.

Hay un total de 4 plataformas que comprenden la cantidad de 57 naves dispuestas para la cría y cuidado del ganado. Están situadas al este del complejo agro-ganadero.

La crianza de reses en estas instalaciones favorece a ambas empresas, ya que, por un lado, ganadería se beneficia del producto cárnico proveniente de la matanza de las vacas y su venta en el mercado alimenticio. Por el otro lado, APAYCACHANA, al ser la encargada del mantenimiento y limpieza de las instalaciones, aprovecha el residuo orgánico generado a diario, llamado estiércol, formado por paja y excrementos de los animales, para su transporte a la planta de compostaje y la posterior obtención de abono orgánico.



Figura 2.5 Cabezas de ganado vacuno

2.5 INSTALACIÓN AUTOCONSUMO FOTOVOLTAICO

La instalación de paneles solares en APAYCACHANA se realizó con el único propósito de autoabastecer a la empresa de energía eléctrica.

Dicha instalación se encuentra en la cubierta de las naves anexas a los invernaderos.

Esta sección de la empresa ofrece múltiples beneficios, tanto económicos como medio ambientales:

- Aprovechamiento de un recurso sin coste e inagotable.
- Ahorro económico y energético durante un horizonte de 25 años.
- Energía invariable frente a subidas del precio de la luz.
- Reducción de la dependencia energética con la compañía eléctrica.



Figura 2.6 Instalación fotovoltaica.

3 COMBUSTIBLES EMPLEADOS EN LA ACTUALIDAD

El consumo energético se ha incrementado significativamente en las últimas décadas. En paralelo, el calentamiento global del planeta y sus consecuencias, son cada vez más notables.

Por ello, resulta imprescindible adoptar medidas que permitan reducir el impacto medioambiental de los procesos para la generación de energía, mediante nuevas fuentes energéticas que reduzcan los residuos y emisiones que afectan al medio ambiente. En este escenario, los biocombustibles se posicionan como una excelente alternativa.

3.1 COMBUSTIBLES TRADICIONALES

Actualmente, más del 80% del suministro mundial de energía proviene de los combustibles fósiles, es decir, el petróleo, el gas natural y el carbón. El 20% restante es suministrado por la energía nuclear (6%) y las fuentes de energía renovables (14%).

Por lo tanto, hoy por hoy, la eliminación de los combustibles fósiles no es viable, pero se ha propuesto ir reduciendo esta dependencia por alternativas más sostenibles debido a varios factores:

- Posible agotamiento de los combustibles fósiles.
- Emisión de gases contaminantes al medio ambiente.
- La inestabilidad geopolítica de los principales países proveedores de combustible fósil.
- Calentamiento global y gases de efecto invernadero.

3.1.1 Gas Natural

El gas natural es un recurso fósil muy versátil y el más limpio en comparación con el carbón o petróleo. Consiste en una mezcla de gases, donde el metano constituye el elemento principal con un porcentaje superior al 95%. También contiene pequeñas cantidades de otros hidrocarburos y de gases no hidrocarburos.

Proviene de la degradación de materia orgánica y se extrae de formaciones que pueden hallarse encima de yacimientos petrolíferos o en reservas independientes y aisladas de otras materias primas. Es una fuente de energía relativamente poco explotada y nueva, sin embargo, en la actualidad el gas natural empieza a ganar terreno en países desarrollados.

3.1.2 Petróleo

El petróleo es un líquido aceitoso e inflamable producto de la degradación, a grandes temperatura y presiones, de materia orgánica procedente de restos de animales y plantas. Está constituido por una mezcla de hidrocarburos que, de forma natural, se encuentra en determinadas formaciones geológicas.

Es un material de alto poder energético cuya extracción es sencilla y tiene múltiples aplicaciones. Sin embargo, tiene un gran impacto ambiental, desde su extracción, hasta su uso en producción, por ejemplo, en plásticos.

Por tanto, el excesivo empleo de petróleo como combustible incide negativamente sobre la vida en el planeta y sobre la estabilidad del clima, llegando a ocasionar la destrucción de ecosistemas y el incremento de los gases de efecto invernadero.

3.1.3 Carbón

De los combustibles fósiles, es el más abundante y es el que permite mayor seguridad de suministro. Además, en la naturaleza, se presenta de forma estable, por lo que es el combustible fósil más seguro a la hora de su extracción, transporte, almacenamiento y uso. Por otro lado, es el combustible fósil que más contribuye al cambio climático, siendo las centrales térmicas de carbón una de las mayores fuentes de CO₂.

Su principal aplicación se basa en la producción de electricidad en centrales termoeléctricas. Otra de sus utilidades es su uso como fuente primaria de calor en calderas industriales.

3.2 BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles son aquellos carburantes obtenidos a través de recursos naturales o de residuos orgánicos, tanto de origen animal como vegetal. Entre las ventajas más destacadas de los biocarburentes destacan:

- Capacidad para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- Fuente más abundante y estable que los combustibles fósiles.
- Disminución de residuos sólidos.
- Reducen la dependencia de los combustibles fósiles.
- Fácil obtención, almacenamiento y transporte.
- Desarrollo en zonas rurales.

Considerando el origen de la biomasa y la generación de los biocombustibles, se clasifican en:

- Primera Generación: provienen de cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana o de ganado.
- Segunda Generación: producidos a través de residuos sólidos urbanos y agrícolas, así como de la biomasa de naturaleza leñosa. Se trata del tipo de biocombustible más avanzado en la actualidad.
- Tercera Generación: obtenidos principalmente a partir de algas.

3.2.1 Bioetanol

El bioetanol es un tipo de combustible que se obtiene a partir de la fermentación de diferentes tipos de materia orgánica, principalmente la materia vegetal alta en celulosa, como las plantas, entre las que destacan la caña de azúcar, los cereales, trigo, remolacha, maíz, etc.

Es una alternativa renovable que puede sustituir a las gasolinas y gasóleos, además de evitar alrededor del 70% de emisiones de GEI respecto al empleo de combustible fósil. De esta forma, ayuda a reducir el efecto invernadero, así como las emisiones de NO_x y de partículas a la atmósfera.

Se trata de un biocombustible de alto poder calorífico, siendo un componente ideal para su uso en chimeneas.

3.2.2 Biodiesel

El biodiesel es un combustible de origen renovable y natural que puede fabricarse a partir de diversas fuentes orgánicas, como pueden ser las cosechas, los árboles o las grasas de origen animal.

Supone una alternativa frente al diésel tradicional, además de ser mucho más limpio, ya que reduce las emisiones de CO₂, SO₂, CO y HC. Sin embargo, el biodiesel emite mayor cantidad de NO_x (alrededor de un 10% de incremento).

Debe realizarse un control de la producción de biodiesel y los monocultivos extensos de las plantas de las que se obtiene, ya que podría afectar a la diversidad ecológica de la flora y al hábitat natural.

3.2.3 Biogás

El biogás es un gas renovable compuesto mayoritariamente de metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂), con pequeñas cantidades de otros gases como el ácido sulfhídrico o el hidrógeno en proporciones variables, dependiendo de la composición de la materia orgánica a partir de la cual se ha generado.

Es producido a partir de materias primas de origen biológico mediante su descomposición anaerobia, cuyas principales fuentes son los residuos ganaderos y agrícolas, los lodos de estaciones depuradoras de aguas residuales urbanas (EDAR) y los RSU.

Teniendo en cuenta las materias primas empleadas para su producción, el biogás tiene un alto potencial de desarrollo en España. Además, el proceso total que engloba su producción y posterior consumo es, bajo ciertas condiciones, climáticamente neutro.

Puede contribuir enormemente a la descarbonización del sistema energético, siendo un claro ejemplo de proceso sostenible y de economía circular, al obtenerse a través de residuos orgánicos.

El aprovechamiento energético del biogás y del biometano puede realizarse mediante diversas vías. Deberá atenderse al criterio de la proximidad entre generación y aprovechamiento del biogás, es decir, su uso en un entorno local cercano ofrece grandes ventajas, entre las que se pueden destacar el ahorro energético y la generación de valor añadido en el propio establecimiento. Además, teniendo en cuenta la eficiencia energética y la viabilidad económica del proyecto, de entre todas las alternativas que podrían tomarse para el uso del biogás/biometano solamente se consideran cinco.

- **BIOGÁS PARA USO TÉRMICO**

Para esta alternativa es necesario que se encuentren muy próximas las instalaciones donde se encuentran los sustratos y los puntos de consumo. Si este requisito se cumple, podría llevarse a cabo esta opción que es la más económica y eficiente de las citadas.

Este tipo de alternativa suele darse en industrias del sector agro-ganadero, como es el caso de APAYCACHANA, presentando un balance medioambiental positivo. En la actualidad, también se llega a emplear en estaciones depuradoras de agua residuales urbanas, ya que generan una gran cantidad de biogás que aprovechan para cubrir sus necesidades térmicas.

- **BIOGÁS PARA USO ELÉCTRICO O COGENERACIÓN**

El biogás también puede ser utilizado en plantas de cogeneración con el fin de obtener energía térmica y eléctrica. Sin embargo, el empleo de este gas en cogeneración no resulta muy eficiente comparándolo con moto-generadores que trabajan a base de gas natural.

Es por ello que el biogás podría ser filtrado y depurado para obtener el gas natural de origen renovable, el biometano, con un comportamiento energético semejante al del gas natural.

- **BIOGÁS Y BIOMETANO PARA USO EN TRANSPORTE**

En España el número de vehículos alimentados por gas natural ya suma más de 30.000 unidades. Esta cantidad sigue creciendo, sobre todo en aquellos vehículos destinados al transporte pesado, camiones o autobuses.

Para poder emplear el biogás en el transporte, en primer lugar, es necesaria su previa depuración a biometano, ya que este puede sustituir al gas natural debido a sus similares características.

- **BIOMETANO PARA USOS DISTINTOS AL TRANSPORTE**

En cualquier proceso o aplicación que requiera de gas natural, el biometano va a poder sustituirle gracias a sus propiedades y composiciones tan parecidas. Por lo tanto, el biometano podrá ser empleado para distribuirlo por los gasoductos de gas natural, vendiéndolo a clientes de otros países en el mercado internacional.

- **BIOGÁS PARA USO COMO MATERIA PRIMA**

El biogás también puede ser utilizado como materia prima de otros procesos energéticos, como la obtención de hidrógeno renovable, mediante procedimientos como el reformado con vapor (SMR) o reformado autotérmico (ATM).

4 PLANTA DE BIOMETANO

A continuación, se va a describir todo el proceso necesario para la obtención del biometano, proceso que se puede visualizar de forma global en el Anexo D. Para ello, deberán conocerse las instalaciones que forman la planta, las materias primas del proceso, su tratamiento previo a la entrada en el digestor, los procesos biológicos que forman la digestión anaerobia y las condiciones que deben cumplirse para que el proceso resulte exitoso.

4.1 ENTRADA DE RESIDUOS

El comienzo del proceso parte de la recogida y preparación de las materias primas, en este caso, formadas únicamente por residuos orgánicos. Esta fracción del proceso se encarga de tratar y preparar los residuos para su posterior entrada en el biodigestor y controlar las propiedades de la mezcla de residuos resultantes para que el proceso sea lo más eficiente posible.

4.1.1 Tipos de Residuos

Los residuos que se van a emplear en la digestión anaerobia poseen diferentes procedencias. De las propias actividades de APAYCACHANA, se aprovechan dos tipos de residuos, como son los residuos orgánicos resultantes de la cría de cabezas de ganado y los residuos agrícolas de los invernaderos.

Por otro lado, se encuentran los residuos que llegan desde el exterior de la empresa, formados principalmente por lodos de depuradoras. Por tanto, los tipos de residuos más abundantes en la empresa serán:

- Estiércol del ganado vacuno
- Lodos de Depuradora
- Lodos de Conservera
- Lodos de Depuradora de la Industria Alimentaria
- Residuos agrícolas del invernadero

Se ha realizado un estudio acerca de la cantidad que se va a utilizar de cada uno de estos residuos al año y la magnitud de biogás que van a proporcionar.

Tabla 4.1 Toneladas de residuos empleados al año.

TIPO DE RESIDUO	TONELADAS AL AÑO
Estiércol Vacuno	21.000
Lodos Depuradora	30.000
Lodos Conservera	13.000
Lodos Depuradora Industria Alimentaria	17.000
Restos Agrícolas	1.000
TOTAL	82.000

Tras el contacto con dos empresas especializadas en los procesos biológicos para la obtención del biogás, se ha podido obtener este estudio acerca de la cantidad de biogás que se puede producir, lo cual se ve reflejado en el Anexo A. Producción de Biogás y Biometano.

Además, para poder calcular las toneladas de biogás resultantes de cada uno de los residuos, es necesario conocer dos factores:

- La volatilidad del residuo.
- El porcentaje de materia seca que presenta el residuo.

Tabla 4.2 Porcentaje de Materia Seca y Volatilidad de cada residuo

TIPO DE RESIDUO	MATERIA SECA (%)	VOLATILIDAD (%)
Estiércol Vacuno	23 %	89 %
Lodos Depuradora	17 %	60 %
Lodos Conservera	19 %	77 %
Lodos Depuradora Industria Alimentaria	19 %	50 %
Restos Agrícolas	20 %	98 %

Teniendo en cuenta que la volatilidad es una propiedad de los materiales que define su tendencia a pasar a fase de vapor, cuanto mayor sea este parámetro, mayor cantidad de biogás proporcionará.

4.1.2 Tratamiento de los Residuos

Una vez conocidos todos los tipos de residuos que se van a emplear en la digestión anaerobia, antes de introducirlos en los biodigestores deberán ser tratados adecuadamente para obtener la mayor cantidad de biogás posible con el mayor porcentaje de metano que pueda recuperarse.

Para ello, los residuos deberán transcurrir por los siguientes procesos antes de ser incluidos en el biodigestor:

- **Transporte de los residuos**

Mayoritariamente se realiza mediante camiones desde su punto de recogida hasta la zona de almacenamiento de la planta.

En el caso del estiércol, se transporta desde las plataformas donde se encuentra el ganado, en el caso de los restos agrícolas, desde la sala hortícola cercana a los invernaderos y por último los lodos, que llegan directos desde las depuradoras y conserveras.

- **Almacenamiento en alimentador dosificador vertical.**

Los residuos son transportados desde la zona de almacenamiento mediante palas cargadoras para ya depositarlos en los contenedores dosificadores.

Este estudio está diseñado para la implantación de dos biodigestores, por lo que será necesario un alimentador dosificador por biodigestor. Los contenedores cuentan con una capacidad de 80 m³ cada uno. Además, están diseñados adecuadamente para importar los lodos provenientes de las depuradoras y conserveras.

- **Sistema de pesaje inclinado y transportadores de tornillo al sistema Multimix**

Estos contenedores cuentan con un sistema de pesaje que dará a conocer la cantidad exacta de materia prima disponible para introducir en cada uno de los biodigestores.

Asimismo, al disponer del sistema de pesaje, podrán conocerse las proporciones de cada tipo de residuo que darán lugar a la materia prima total que se introducirá en el biodigestor.

Antes de pasar directamente al biodigestor, el residuo almacenado deberá ser trasladado mediante tornillo de transporte al sistema Multimix.

- **Sistema Multimix**

El sistema Multimix consiste en el mezclado y triturado de los residuos procedentes de los alimentadores dosificadores. Esto garantiza la utilización continua y homogénea de los sustratos y la operación estable de la planta. Al igual que los contenedores dosificadores, hay un sistema de Multimix por biodigestor.

La implementación de este sistema antes de introducir los residuos en el digestor ofrece múltiples ventajas:

- Minimizar el riesgo de capas flotantes y de sedimentos.
- La preparación de los sustratos ricos en fibra.
- Carga del digestor con biosuspensión homogénea triturada.
- Trituración del sustrato orientada a las bacterias para una producción de biogás inmediata y aumentada.



Figura 4.1 Sistema Multimix (WELTEC Biopower)

4.1.3 Propiedades de los Residuos

Por lo que respecta a las características técnicas de la materia prima que forma la mezcla de residuos en el interior de los biodigestores, las principales propiedades para tener en cuenta en la digestión anaerobia son:

- **Composición Química de la Materia Prima**

Las características químicas de los residuos deberán ser las adecuadas para facilitar la actividad y evolución de los microorganismos a lo largo del proceso digestivo.

Como se mencionará más adelante, la presencia de elementos como el carbono o el nitrógeno es muy importante en el desarrollo químico de la mezcla de residuos, sin embargo, también es necesaria la disposición de un equilibrio de sales minerales, como el calcio, hierro, fósforo, azufre, etc.

Teniendo en cuenta los residuos que se utilizarán, en el caso del estiércol y de los lodos procedentes de depuradoras presentan dichos elementos en unas proporciones adecuadas para la digestión. En el caso de materias con un gran porcentaje de lignina, no son aprovechables de manera directa, sino que deberán tratarse (cortado y prensado) para que al ser digerido ofrezca la mayor eficiencia posible.

Para estudiar la composición química de las múltiples clases de residuos orgánicos, deberá atenderse a sus proporciones en lignina, proteínas, lípidos, celulosa hemicelulosa y cenizas, todo ello recogido en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Composición Química de residuos de origen animal y vegetal

Materia Prima	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
Paja de Trigo	1.10	2.10	65.45	21.60	3.53
Paja Centeno	9.62	5.42	59.95	12.70	12.31
Paja de Arroz	2.35	12.26	30.51	10.61	12.55
Pasto Verde	8.05	4.94	57.22	9.80	19.99
Hojas Secas	4.01	3.47	32.78	29.66	4.68
Bovino	3.23	9.05	32.49	35.57	19.66
Porcino	11.50	10.95	32.39	21.49	23.67
Equino	2.70	5.00	40.50	35.00	17.80
Ovino	6.30	3.75	32.00	32.00	25.95

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

- **Relación Carbono/Hidrógeno (C/N)**

En el interior de los digestores se lleva a cabo el cultivo de bacterias metanogénicas que se alimentan de los residuos orgánicos, transformándolos a su paso. El carbono y el nitrógeno son los principales alimentos de dichas bacterias, presentándose el carbono en forma de carbohidratos y el nitrógeno integrado en nitratos y proteínas.

Ambos compuestos obtienen tanta importancia debido a que, por un lado, el carbono sirve como fuente de energía, mientras que, por el otro, el nitrógeno se utiliza para la formación de nuevas estructuras celulares.

Sin embargo, los dos elementos no se consumen al mismo ritmo, sino que las bacterias utilizan entre 25 y 30 veces más carbono que nitrógeno en un mismo periodo de tiempo. De esta forma, la relación óptima de C/N presente en la materia a digerir es de 25 a 30. Si se diese una desviación en gran medida de esta proporción, podría llegar a desequilibrarse el proceso.

Por ejemplo, si la relación está excedida en carbono, es decir, una relación C/N superior a 30, el nitrógeno se consumirá más rápido, resultando que el ritmo de producción de biogás disminuya, además de descender el valor del pH de la mezcla.

En el caso contrario, dándose una relación inferior a 25, escasa en carbono, provocará el rápido consumo del carbono y la formación en grandes cantidades de amoníaco (NH_3) a partir del nitrógeno, inhibiendo la actividad bacteriana y, por consecuencia, parando el proceso.

En la tabla 4.4 puede observarse la relación C/N de los principales residuos animales y vegetales empleados en la digestión anaerobia.

Tabla 4.4 Relación C/N de residuos animales y vegetales

Materiales	%C	%N	C/N
Residuos Animales			
Bovinos	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Excretas Humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos Vegetales			
Paja de Trigo	46	0.53	87:1
Paja de Arroz	42	0.63	67:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas Secas	41	1.00	41:1

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Hay que tener en cuenta que, si en un principio no se dispone de una mezcla con la relación óptima de carbono y nitrógeno, será necesario mezclar los residuos disponibles en distintas cantidades para obtener dicha relación.

- **Cantidad de Sólidos Totales / Humedad**

Los residuos por digerir están compuestos de una porción sólida, conocida como sólidos totales y el resto es agua. Sin embargo, el agua no se transforma en biogás, pero una determinada cantidad de este líquido será necesaria para que se produzca el proceso de fermentación, además de favorecer a los procesos de bombeo y agitación de los residuos.

Por ello, el porcentaje de residuos sólidos presentes en la mezcla es un factor de consideración para que el proceso de fermentación se realice con éxito. Sin embargo, un exceso en el contenido de sólidos en la mezcla limitará la movilidad de las bacterias metanogénicas, reduciendo de esta forma la producción de biogás. En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de sólidos totales presentes en cada tipo de residuo.

Tabla 4.5 Sólidos totales de los residuos

Materias Primas	% Sólidos Totales
Residuos Animales	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas Humanas	17.0
Residuos Vegetales	
Paja de Trigo	88.0 – 90.0
Paja de Arroz	88.8 – 92.6
Hojas Secas	50.0
Hojas de Hortalizas	10.0 – 15.0

Fuente: Varnero y Arellano, 1991

Los sólidos totales abarcan los elementos digeribles, también conocidos como sólidos volátiles, y los no digeribles, llamados sólidos fijos.

- **Cantidad de Sólidos Volátiles**

Son aquellos sólidos que forman el material que realmente es transformado por las bacterias del digestor y, por tanto, del que se obtiene el biogás.

De esta forma, cuanto mayor sea la proporción de los sólidos volátiles, más eficiente será la digestión.

- **Cantidad de Sólidos Fijos**

Se trata de la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos volátiles. Constituyen el material que no será transformado durante la digestión, tratándose de un material biológicamente inerte.

4.1.4 Parámetros ambientales del proceso

Los parámetros ambientales son aquellos que dependen de las características de la materia prima y de la evolución de las etapas del proceso de digestión. Por lo tanto, estos parámetros no pueden modificarse directamente cuando la digestión está en curso.

Los microorganismos responsables de llevar a cabo la digestión de los residuos, en especial los metanogénicos, son altamente sensibles a variaciones de las condiciones ambientales a las que están sometidos. Por ello, es fundamental examinar los principales factores que afectan en mayor medida al proceso de digestión.

- **Rangos de pH y Alcalinidad**

Los efectos del pH se observan principalmente en los microorganismos metanogénicos, que son más susceptibles a variaciones del pH que el resto de las bacterias presentes en el proceso de digestión.

El valor de pH recomendado se encuentra entre 6.8 y 7.4, sin embargo, durante el periodo de arranque de digestión se produce una gran suma de ácido orgánico debido a la alta actividad de las bacterias acidogénicas, reduciéndose el valor de pH. A medida que

prospera la digestión, el pH va aumentando lentamente, hasta alcanzar su valor neutro, siendo este el valor adecuado para la digestión anaerobia.

Un valor de pH bajo reduce la actividad de las bacterias metanogénicas, lo cual supone la acumulación de H_2 y ácido acético, y consecuentemente, la acumulación de AGV que provoca la disminución aún mayor del pH. Por tanto, si este factor no se controla, podría llegar a darse la parada del digestor. La actividad de las bacterias metanogénicas en función del pH se muestra en la Figura 4.2.

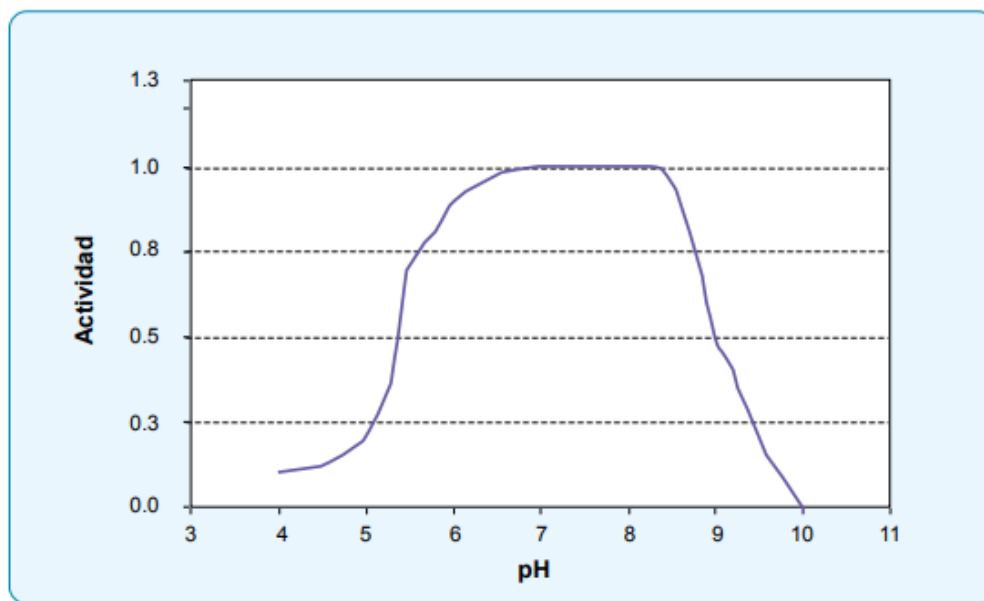


Figura 4.2 Actividad Metanogénica en función del pH.

En procesos anaeróbicos la reducción del pH es causada por dos motivos, la aglomeración de ácidos grasos volátiles (AGV) y/o la acumulación en exceso de CO_2 . Para evitarlo, la solución principal supone reducir la carga orgánica introducida en el reactor, de forma que los AGV se consuman más rápido de lo que se generan y que el pH vuelva a sus condiciones habituales.

Otras soluciones que se pueden adoptar son la adición de algún químico para corregir el nivel de pH o incluso la oxigenación del digestor, que provocaría la reducción de los AGV mediante los microorganismos facultativos, menos susceptibles a variaciones del pH.

- **Nutrientes**

El proceso anaeróbico, como cualquier proceso bioquímico, requiere de nutrientes para llevarse a cabo. Sin embargo, reflejan una baja necesidad en comparación con los procesos aeróbicos.

Los nutrientes pueden clasificarse en macronutrientes y micronutrientes. Dentro de los macronutrientes se encuentran el nitrógeno y el fósforo, de los cuales se necesitará aproximadamente 12 g de nitrógeno por cada 100 g de biomasa tratada, mientras que la demanda de fósforo se establece en un quinto de la de nitrógeno

Por otro lado, están los micronutrientes, que mejoran la producción de metano, entre los más destacados están el níquel y el cobalto, esenciales para acelerar el proceso metanogénico.

- **Sustancias Inhibidoras**

El desarrollo de la digestión anaeróbica es afectado por una serie de sustancias tóxicas que provienen de la propia materia orgánica introducida al digestor, como el amoníaco o los metales pesados, o ser resultado de la actividad en el propio digestor, tales como el sulfuro, o ácidos grasos volátiles. Cabe destacar que una baja concentración de estas sustancias puede incluso potenciar el proceso. Los inhibidores más notables del proceso son:

- Ácidos Grasos Volátiles (AGV)

Está formado por múltiples clases de ácidos, entre los que destacan principalmente el acético, el propiónico y el butírico. Son generados durante la degradación anaeróbica, ya que la materia orgánica es hidrolizada y fermentada en compuestos de bajo peso molecular, incluyendo estos tipos de ácidos.

Es uno de los parámetros que mejor puede indicar el desarrollo del proceso anaeróbico. En un proceso anaeróbico óptimo, el valor de AGV se encuentra en el rango de 50 – 250 mg/L. Sin embargo, si los AGV se acumulan por cualquier cambio en las condiciones ambientales o de la propia materia orgánica, provocará la desestabilización del proceso y la reducción en la producción de biogás.

- Hidrógeno

El hidrógeno es un elemento importante en la evolución del proceso anaeróbico, ya que su acumulación en el digestor provoca la inhibición de la Acetogénesis, y en consecuencia, la acumulación de AGV.

- Sulfatos y sulfuros

La inhibición relacionada con estos dos componentes está formada por dos etapas, la primera consta de la competencia entre microorganismos y los sulfatos, y la segunda es una inhibición directa del crecimiento metanogénico debido a los sulfuros.

Las bacterias metanogénicas y los sulfatos requieren de los mismos sustratos (acetato e hidrógeno), por lo que una elevada concentración de sulfatos puede producir la inhibición de la digestión anaeróbica. Además, el resultado de esta competencia entre sulfatos y microorganismos metanogénicos determinará el porcentaje de metano y ácido sulfhídrico del biogás resultante del proceso.

El sulfuro es producido durante la degradación de materia orgánica que contiene proteínas, como el estiércol. La inhibición se favorece a niveles de pH y temperatura reducidos. La forma de sulfuro (HS), presenta poca toxicidad, mientras que la forma (H₂S) es la más tóxica de todas, comenzando a afectar al proceso a partir de una concentración de 50 mg/l.

- **Inoculantes Biológicos (promotores de la metanogénesis)**

En el proceso de digestión anaeróbica, pueden distinguirse tres etapas: arranque, estabilización y declinación, cuyas producciones de biogás variarán según la figura 4.3.

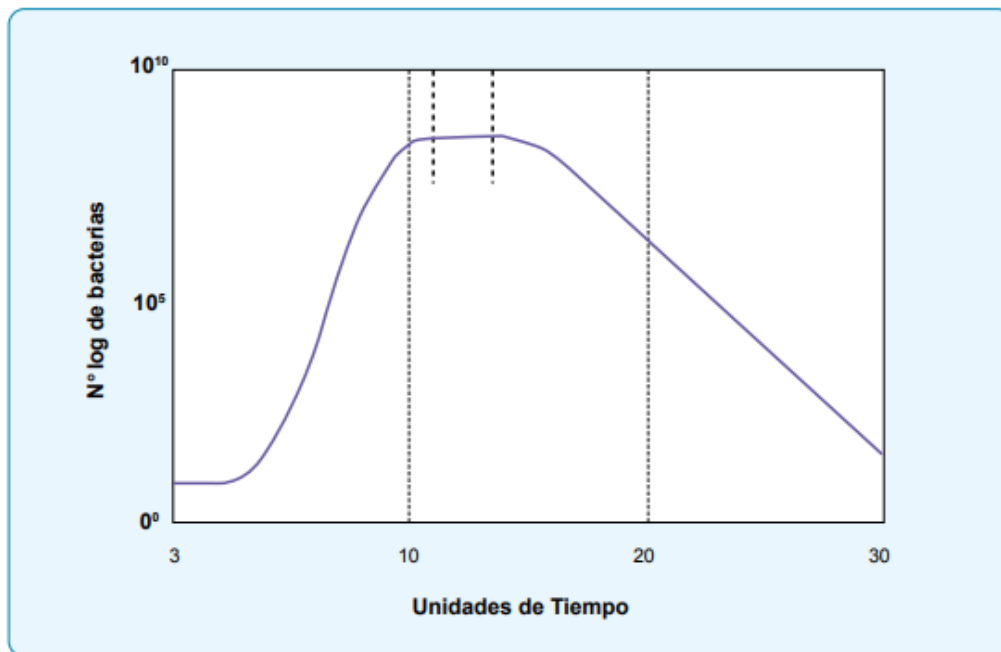


Figura 4.3 Desarrollo de las bacterias en el digestor anaeróbico

La inclusión de inoculantes consiste en la adición de un determinado porcentaje de material de otro biodigestor rico en bacterias metanogénicas que se encuentra en plena actividad.

Puede observarse en la figura 4.3, que la etapa correspondiente al arranque es la que menor producción de biogás genera, pero mediante la inclusión de inoculantes dicho tiempo de arranque podrá reducirse considerablemente.

- **Potencial Redox**

Este parámetro deberá mantenerse entre -220 mV y -350 mV, de esta forma se asegura el ambiente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad. En esta variable interviene en gran parte la actividad de las bacterias sulfuro-reductoras, ya que actúan de aceptores de electrones.

Una vez conocidas todas las propiedades de la materia orgánica que afectan en mayor medida a la producción de biogás y las condiciones ambientales en las que esta debe encontrarse, deberán ajustarse toda esta clase de variables para conseguir una mezcla estable que cumpla con todos los parámetros expuestos.

A dichos parámetros ambientales, se les debe añadir las condiciones internas de los digestores que también influyen en la actividad de los microorganismos y por tanto, en la producción de biogás.

4.2 DIGESTIÓN ANAEROBIA

La digestión anaerobia es el proceso en el cual los microorganismos descomponen la mezcla de residuos orgánicos en ausencia de oxígeno. En este proceso es de suma importancia considerar las condiciones a las que está sometido el sustrato orgánico, ya que de estos parámetros depende en gran parte la producción de biogás.

Además, es importante conocer, las características de los digestores en los que se lleva a cabo y los equipos que los acompañan, así como las etapas que forman el proceso.

4.2.1 Parámetros Operacionales

Los parámetros operacionales son aquellos que pueden controlarse y modificarse durante el proceso de digestión, debido a la disposición de sensores que informan de las condiciones del interior del digestor. Dentro de estos parámetros se encuentran:

- **Temperatura**

La temperatura es uno de los parámetros más influyentes en la velocidad con la que se lleva a cabo la reacción en cualquier sistema biológico, y el proceso anaerobio no es ninguna excepción.

De acuerdo con que la velocidad de reacción de un proceso biológico depende directamente del crecimiento de los microorganismos encargados de la digestión, dicho crecimiento también dependerá de la temperatura, a mayor temperatura, mayor número de microorganismos, por tanto, mayor producción de biogás. Así pues, la temperatura interna de los biodigestores es considerada uno de los parámetros de diseño más importantes a tener en cuenta. En cuanto a la temperatura de operación, en la Tabla 4.6 se definen los tres rangos de temperaturas a las que trabajan los microorganismos anaeróbicos:

Tabla 4.6 Rangos de Temperatura y Tiempos de Fermentación Anaeróbica

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo Fermentación
Psycrophilica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35 °C	30-35 °C	30-60 días
Thermophilica	25-45 °C	50-60 °C	75-85 °C	10-15 días

Cada tipo de fermentación tiene un rango de temperaturas en las que el crecimiento de los microorganismos metanogénicos se hace máximo, recogidos en la figura 4.4.

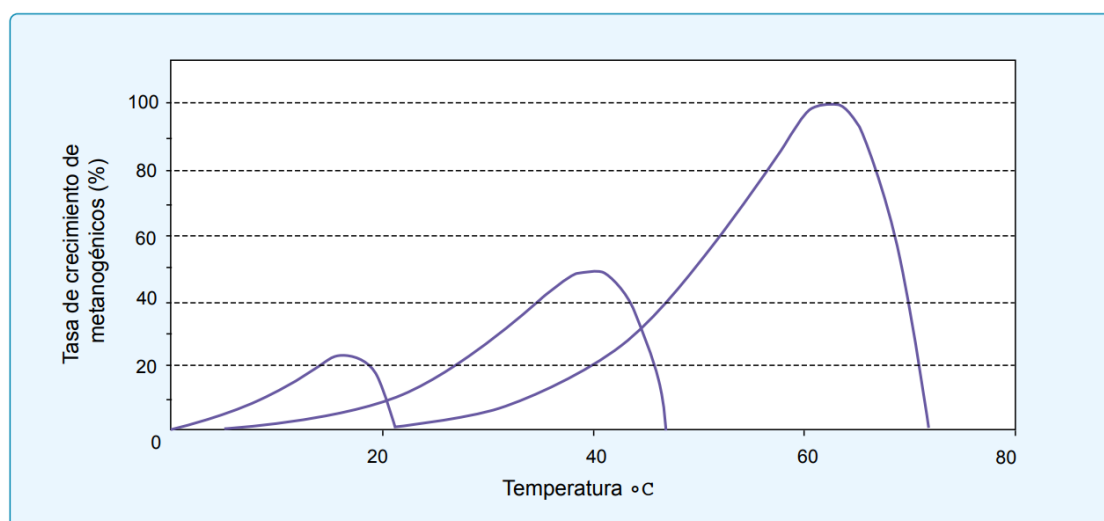


Figura 4.4. Crecimiento en función de la temperatura de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos

En este estudio, los biodigestores están diseñados para operar en regímenes mesófilico y termófilico, ya que son los rangos de temperaturas más estudiados para la producción de biogás, ya que, como se puede ver, son los que mayor número de microorganismos generan y, por tanto, mayor beneficio.

Sin embargo, el régimen termófilico suele ser el más inestable frente a cambios de las condiciones de operación, además de, al ser el que mayor temperatura requiere, supone un mayor gasto de energía.

Asimismo, los equipos, válvulas, tuberías empleados, inclusive su mantenimiento, serán más costosos a medida que aumente la temperatura que deban soportar. Por ello, el rango mesofílico es el más empleado en la actualidad.

- **Tiempo de Retención Hidráulico**

El TRH es uno de los factores más importantes para el control de los sistemas de digestión anaerobia. Se trata del tiempo que transcurre entre la carga de materia orgánica en los digestores y su descarga, una vez sometida al proceso de digestión.

Como la actividad de los microorganismos depende en gran medida de la temperatura, el TRH, también se verá afectado por este parámetro, ya que, mientras mayor sea la temperatura, menor será el tiempo de retención hidráulico para la obtener una buena producción de biogás. Si se tomase como ejemplo el estiércol de origen vacuno, podrá estudiarse el TRH dependiendo de la temperatura, recogido en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7 Tiempo de Retención Hidráulico del estiércol en distintas regiones.

Tiempo de Retención Hidráulico	Características
30 - 40 días	Clima tropical con regiones planas (América Central)
40 - 60 días	Regiones Cálidas con inviernos fríos y cortos (India)
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos (China, Turquía)

En un sistema de carga diaria el TRH determina el volumen de residuos con los que será necesario alimentar el digestor cada día, teniendo en cuenta la relación:

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

- **Velocidad de Carga Orgánica**

La VCO es la cantidad de materia orgánica que es introducida diariamente en el digestor por unidad de volumen, siendo directamente dependiente de la concentración del

sustrato y del TRH, ya que, a mayor calidad de materia introducida en el digestor, menor será su tiempo de retención.

La VCO junto con el TRH, para un tipo de sustrato orgánico determinado, son los principales parámetros de diseño, fijando el volumen del digestor. Al igual que el tiempo de retención hidráulico, la VCO también depende en gran parte de la temperatura, puesto que, si se selecciona una alta temperatura de operación en un digestor con un volumen ya definido, supondrá una reducción del TRH, y en consecuencia, implicará un aumento del volumen de materia orgánica con la que alimentar el digestor.

- **Agitación / Mezclado**

Mediante la agitación de la mezcla de residuos en el interior del digestor se pretende: mezclar el sustrato fresco con la población bacteriana, uniformar la densidad bacteriana, evitar la formación de espacios vacíos dentro del digestor, donde no habría actividad biológica y supondría una reducción del volumen efectivo del mismo. Además, evita la formación de una costra en la superficie superior del sustrato orgánico.

Gracias a la agitación de la mezcla aumenta la producción de biogás debido a que se obtiene una distribución homogénea de los productos orgánicos y de la temperatura de estos. También, evita la formación de espuma en la parte superior del lodo, lo cual dificulta la escapatoria del biogás.

4.2.2 Biodigestores

Los biodigestores son los reactores donde se lleva a cabo, de manera controlada, la digestión anaerobia de la mezcla de residuos orgánicos para la obtención de biogás y digestato. La mezcla de residuos orgánicos y agua entra en el biodigestor, donde permanece a una cierta temperatura durante un tiempo determinado, que variará en función del tipo de materia orgánica introducida y del tipo de digestor.

La mezcla entra al biodigestor por un extremo y se va degradando a medida que avanza dentro de éste, hasta llegar al otro extremo donde se encuentra la salida. Durante este proceso una parte de las excretas introducidas se transforma en biogás, que se extrae mediante una tubería conectada a la parte superior del digestor. El dimensionado del digestor

se hace atendiendo, entre otras cosas, a la cantidad diaria de excretas generadas en la granja y al tiempo necesario para que éstas sean degradadas satisfactoriamente.

En el interior de los digestores es donde se llevan a cabo las 4 etapas que componen el proceso de la digestión anaerobia (hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis), a través de las cuales se consigue transformar la mezcla de residuos orgánicos en biogás y digestato.



Figura 4.5 Biodigestor (WELTEC Biopower)

- **Características técnicas de los digestores**

Se dispone de 2 digestores, cada uno con un diámetro de 31,48 metros y una altura total de 13,85 m, dividida en 2 partes, una para la zona de líquidos y residuos orgánicos y otra para la zona de gases. La altura del tanque es de 6,30 m y la de la cúpula o membrana de 7,55 m.

El material del que están formados es acero inoxidable, tipo 1.4062/1.4162 (DUPLEX) para la zona de líquidos, que ofrece una excelente resistencia a la corrosión y una mayor resistencia mecánica, además de una mayor longevidad. En la zona de gas se emplea el acero inoxidable 1.4462 (DUPLEX), acero muy resistente al óxido y al ácido, que se caracteriza por su buena resistencia a la corrosión contra picaduras y la corrosión superficial.

Ambos digestores cuentan un volumen bruto equivalente a 4.903 m³ y un volumen neto igual a 4307 m³. Su montaje es sencillo y rápido de realizar.

- **Equipos auxiliares de los digestores**

En los equipos acoplados a los digestores se controlan y monitorizan los parámetros operacionales. Los digestores cuentan con un sistema de mezclado compuesto por dos

agitadores de motor sumergible y dos agitadores de eje Biobull por cada uno de los digestores. Para asegurar rango óptimo de temperaturas, se cuenta con un sistema de calefacción, formado por tuberías de calefacción interna de SST de 63 mm de diámetro.

También dispone de una cubierta de doble membrana con almacenamiento de gas aprovechable de 2.454 m³, una unidad de inyección de aire para la desulfuración del biogás, un dispositivo antiespumante para evitar la creación de espuma, lo cual dificulta el ascenso del metano hacia la cubierta y conductos de tanques para sustrato y gas.

Para facilitar la labor de los trabajadores en las instalaciones de los digestores, se cuenta con unas plataformas de trabajo y escaleras, así como de un equipo formado por herramienta de medición y sensores que proporcionan información importante para el control del proceso de digestión.



Figura 4.6 Interior Biodigestor (WELTEC Biopower)

4.2.3 Etapas de la digestión anaerobia

La biodigestión es un proceso en el que la materia orgánica es degradada por la acción de una serie de microorganismos, generando biogás y el digestato. El proceso consta de cuatro etapas que suceden de manera simultánea, ya que no toda la materia orgánica presente en el biodigestor posee la misma antigüedad en el mismo, por lo que estarán en fases diferentes del proceso. En la Figura 4.7 se muestra el esquema general del proceso.

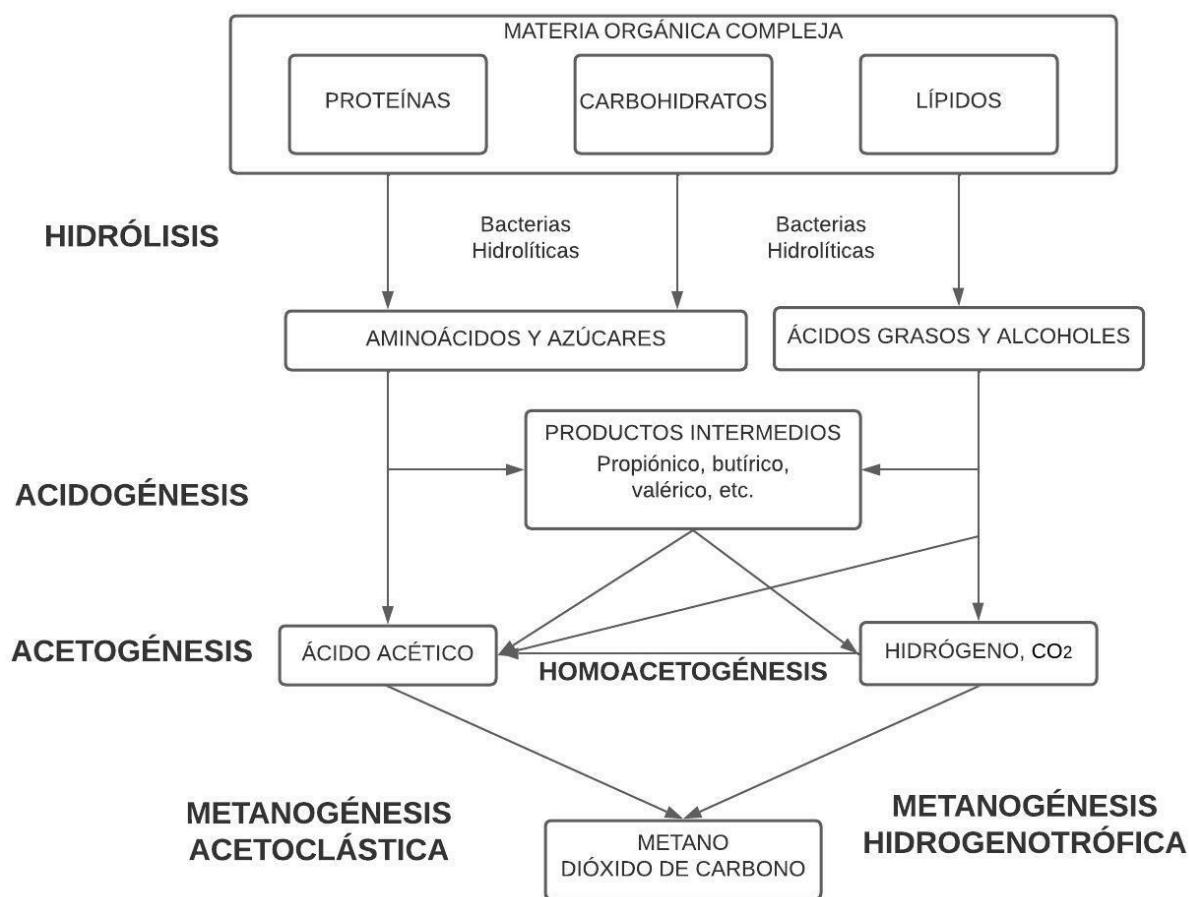


Figura 4.7 Etapas del Proceso de Digestión Anaerobia.

A continuación, se estudiará cada una de las fases que componen el proceso y las bacterias que intervienen en cada una de las etapas:

- **Hidrólisis**

La hidrólisis es la primera fase necesaria para la digestión anaeróbica de sustratos orgánicos complejos, ya que, la materia orgánica que entra en los digestores no puede ser utilizada directamente por los microorganismos, sino que deben hidrolizarse y convertirse en compuestos solubles que facilite la acción de fermentación. De esta forma, la hidrólisis es la etapa limitante de la velocidad del proceso total, en particular cuando se emplean residuos con un alto contenido en sólidos.

La etapa hidrolítica consiste en la conversión, mediante la acción de bacterias hidrolíticas-acidogénicas, de compuestos orgánicos complejos (lípidos, proteínas y carbohidratos) en compuestos más sencillos y que se degradan más rápido, como ácidos grasos, aminoácidos o azúcares. Estas nuevas moléculas, al ser más simples, se solubilizan fácilmente con el medio.

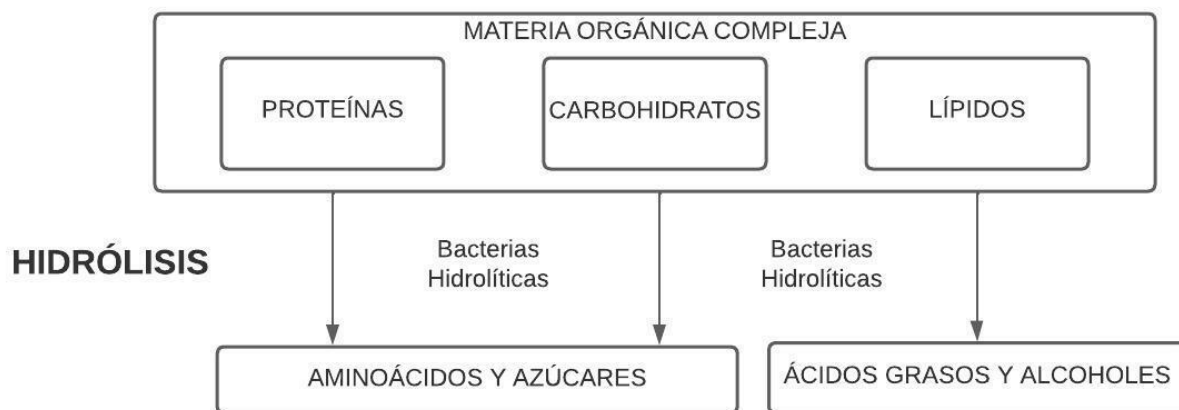


Figura 4.8 Etapa Hidrolítica

Es necesario destacar la importancia de los sustratos transformados en esta etapa, en especial las proteínas, ya que son una gran fuente de carbono y energía y, además, los aminoácidos derivados de su hidrólisis cuentan con un alto valor nutricional. Los carbohidratos, al igual que las proteínas, también sirven de fuente para obtener aminoácidos y azúcares.

En cuanto a los lípidos, estos generan gran cantidad de ácidos grasos mediante la ruptura de las grasas por la acción de las bacterias hidrolíticas.

- **Acidogénesis (Fermentación)**

Los compuestos resultantes de la etapa hidrolítica son transformados mediante la acción de bacterias y microorganismos fermentativos dando lugar a nuevos compuestos que pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas, tales como el ácido acético o acetato, el hidrógeno y el dióxido de carbono.

En menor proporción, también se obtienen productos intermedios como alcoholes y ácidos orgánicos volátiles (propiónico, butírico, valérico, etc.) que deberán ser oxidados por bacterias acetogénicas en la etapa siguiente.

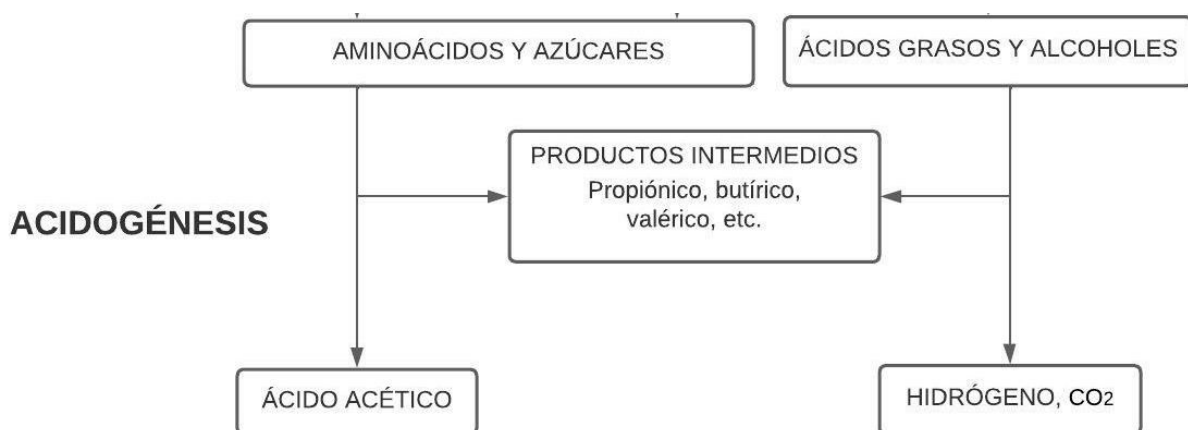


Figura 4.9 Etapa Acidogénica.

- **Acetogénesis**

Algunos productos de la fermentación pueden ser descompuestos directamente por los microorganismos metanogénicos (ácido acético, hidrógeno), en cambio los productos intermedios como los ácidos orgánicos (propiónico, butírico, etc.), deben ser transformados por las bacterias acetogénicas con el fin de obtener productos más sencillos (acetato, hidrógeno y CO₂).

Además de las bacterias acetogénicas, en esta etapa del proceso actúan otro tipo de bacterias conocidas como homoacetogénicas. Son las encargadas de obtener acetato empleando como sustrato ácidos grasos y volátiles junto a hidrógeno y dióxido de carbono. Este proceso es llamado Homoacetogénesis. Además, la reducción de la cantidad de hidrógeno en el digestor favorece la actividad de las bacterias acidogénicas y acetogénicas.

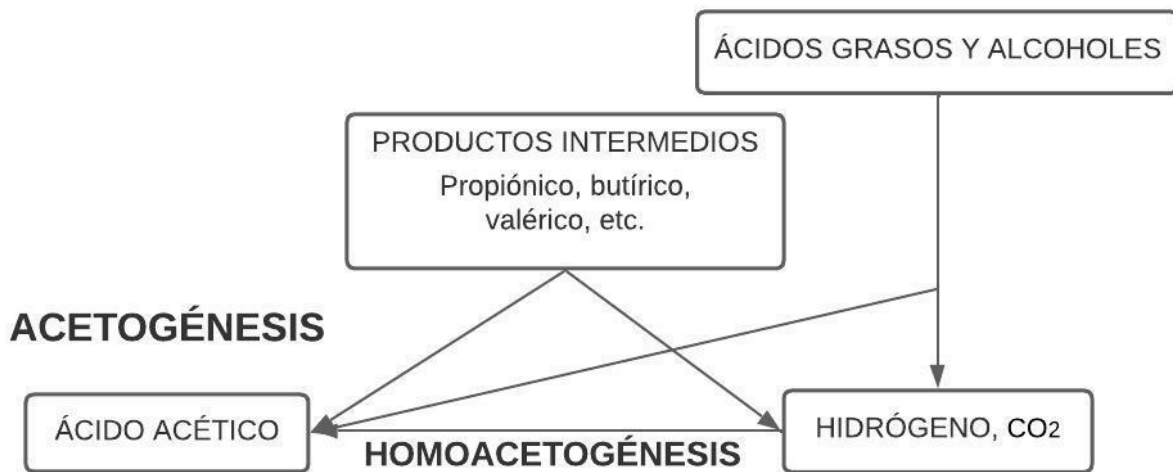


Figura 4.10 Etapa Acetogénica.

Una vez se ha llegado a este punto del proceso, la gran mayoría de las bacterias anaerobias ya han consumido todo el alimento de la biomasa, eliminando sus propios productos de desecho (ácidos volátiles). Dichos ácidos, serán los que emplearán las bacterias metanogénicas como sustrato para la obtención de biogás.

- **Metanogénesis**

En la última etapa del proceso los sustratos presentes son el ácido acético, el hidrógeno y el dióxido de carbono. Los microorganismos metanogénicos son considerados los más importantes del proceso, ya que son los encargados de la formación del metano presente en el biogás resultante, además de consumir los productos orgánicos generados por las etapas anteriores.

En esta fase, pueden distinguirse dos grandes grupos de bacterias según el sustrato principal que transforman, por un lado, se encuentran las bacterias hidrogenotróficas, que combinan el dióxido de carbono y el hidrógeno para producir metano y agua. Por otro lado, están las bacterias acetoclásticas, encargadas de convertir el ácido acético en metano y dióxido de carbono.

El camino principal para obtener metano se da a través de la metanogénesis acetoclástica, ya que produce alrededor del 70% del metano presente en el biogás final.



Figura 4.11 Etapa Metanogénica

Es preciso señalar el inconveniente generado por las bacterias sulfato-reductoras (SRB), cuyo papel en el proceso consiste en degradar las pequeñas cantidades de sulfatos presentes en la materia orgánica, utilizando el hidrógeno procedente de etapas anteriores

El crecimiento de las SRB no es deseable ya que supone la reducción de la producción de metano, eliminando materia orgánica y convirtiéndola en CO_2 en lugar de metano, además de producir ácido sulfhídrico (H_2S) que impide el completo aprovechamiento energético del biogás debido a problemas de corrosión.

Para que el ácido sulfhídrico no afecte la producción del biogás, se opta por precipitar el sulfuro generado o eliminar el H_2S del biogás.

4.3 OBTENCIÓN DE BIOMETANO | UPGRADING

El filtrado o limpieza del biogás, también conocido como Upgrading, es una operación de tratamiento de mejora y enriquecimiento del metano que está presente en el biogás con el objetivo de obtener un gas de alta concentración de metano con una composición similar al gas natural, pero de origen no fósil, conocido como biometano. De esta forma, este nuevo gas puede ser empleado para su inyección a la red, para la producción de GNL o para su empleo en plantas de cogeneración o incluso en transporte.

Por tanto, para optimizar el aprovechamiento del biogás generado en la digestión anaerobia, se instalará una unidad de “Upgrading” con tecnología de membranas (3 pasos), dotada con sistema de recuperación de calor y frío de emergencia, analizador de biogás y de biometano y bomba de calor para recuperación del calor adicional. El calor generado en esta etapa podrá ser aprovechado en el proceso de digestión anaerobia.

4.3.1 Tratamiento previo del biogás

El biogás bruto consiste mayoritariamente en metano y dióxido de carbono. Sin embargo, hay algunos otros componentes que deben eliminarse antes de penetrar en las membranas y ser enriquecido. Por ejemplo, el biogás también contiene, en menor proporción, agua, el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otras impurezas.

La mayor parte del agua se elimina llevando a cabo una condensación en un enfriador de biogás. Previamente a la entrada al enfriador se instalará un analizador de biogás. Los condensados serán llevados a un pozo, equipado con una bomba sumergible, para impulsar los condensados a los tanques de recepción de sustratos.

Después de la etapa de enfriamiento es necesario eliminar el sulfuro de hidrógeno (H_2S) y otros contaminantes que pueden dañar las membranas o que deben ser eliminados para cumplir con la especificación de la red de gas u otra aplicación específica.

El sulfuro de hidrógeno y otros contaminantes (COVs y siloxanos) se eliminan del biogás utilizando filtros de carbón activo. El biogás se analiza antes, durante y a la salida del filtrado, para que el carbón activo pueda cambiarse a tiempo.

Se emplearán dos filtros para eliminar el H_2S y otro para los COVs y siloxanos. Para asegurar que los filtros de carbón activo funcionen bien, el biogás deberá tener una concentración de entre el 0.1 y el 0.2 % de O_2 .



Figura 4.12 Filtros carbón activo

4.3.2 Compresión y Recuperación del Calor

Después del acondicionamiento del biogás, este será comprimido a la presión necesaria para ser llevado a las membranas. Esto dependerá de la especificación de la salida de gas necesaria y suele variar entre 12 y 16 bares.

Se recuperará parte del calor generado mediante una tecnología que recupera el calor procedente del secado y enfriamiento del biogás. Esta tecnología emplea bombas de calor especialmente diseñadas con una alta eficiencia para recuperar la mayor cantidad de calor posible con el menor consumo de electricidad.

4.3.3 Separación mediante membranas en 3 etapas

Posteriormente, para la separación del dióxido de carbono, se utilizarán membranas altamente selectivas, por las que el CO_2 permeará más fácil y rápidamente y el metano se concentra y se obtiene como retentado. La separación del metano y del dióxido de carbono ocurre debido a la diferencia de velocidad de permeación entre los dos gases.

Este proceso de separación se realiza en un rango de presiones entre 12 y 20 bar y a unas temperaturas entre 30 y 70°C.

Aunque una membrana separa el CO₂ del CH₄, la selectividad de una membrana no es del 100%. Por tanto, el flujo de metano al final de la membrana todavía contiene una pequeña cantidad de CO₂. Para lograr una alta concentración de metano al final del proceso, se dispone de otros dos conjuntos de membranas después del primero. Cada conjunto de membranas se denomina etapa.

Los módulos de membrana en el sistema estarán dispuestos de tal manera que el gas permeado de las diferentes etapas sea recirculado para obtener la mayor eficiencia (> 99.5%) y la menor pérdida de metano (< 0.5%).

4.3.4 Postratamiento

Para garantizar la calidad del gas que cumpla con las especificaciones requeridas para inyección a red, es necesario analizar el gas de salida de la planta. En primer lugar, se deberá comprobar el caudal para asegurar la eficiencia del sistema. Si el flujo del biogás cae por debajo de la cantidad requerida, se dispondrá de un botón de encendido/apagado, que controlará el trabajo continuo del sistema. Si es necesario, se apagará y después de detectar la cantidad suficiente de biogás para arrancar, se encenderá de nuevo. Para ello, se instalará un caudalímetro de biometano y analizadores de biogás y biometano.

La instalación contará con una sala de control, que se colocará dentro del contenedor suministrado. La sala de control estará separada de la sección de membranas, utilizando una pared hermética al gas. La sala de control contendrá el cuadro eléctrico, el panel de control y los analizadores de gas. El panel de control estará equipado con un módem, de modo que la planta podrá ser controlada y monitorizada a distancia a través de una conexión a internet.

En el módulo de inyección se dispondrá de un cromatógrafo de gases, con el objetivo de poder determinar la composición exacta del biometano obtenido, midiendo la concentración de CH₄, CO₂, N₂ y niveles de O₂. Estos valores pueden ser traducidos en un Valor Calórico o un Índice de Wobbe.

4.4 EL DIGESTATO

El digestato es el residuo orgánico que se obtiene del proceso de digestión anaerobia junto con el biogás.

Está reconocido por el Real Decreto 506/2013, de 28 de Junio, sobre productos fertilizantes, entre los residuos orgánicos biodegradables que se pueden emplear como recurso para la producción de fertilizantes.

El digestato, una vez llevado a cabo el proceso de digestión anaerobia, será impulsado a un separador de sólidos tipo tornillo para deshidratarlo. El escurrido obtenido será llevado a una ósmosis que consiste en un primer paso con membranas vibratorias (2 módulos) y un segundo paso con membranas en espiral.

Una vez llevado a cabo el tratamiento mediante ósmosis inversa, el permeado se llevará a vertido. El concentrado de la ósmosis inversa con membranas vibratorias se enviará a dos depósitos en paralelo con una capacidad de 50 m³.

4.4.1 Separación sólido/líquido del digestato

El digestato a la salida del digestor será separado en fracción sólida y líquida mediante un separador tipo tornillo. Este separador de tornillo es de dos fases de separación, una sólida y otra líquida, se dimensiona para 10 h de funcionamiento al día.

El separador de tornillo se ubicará sobre una estructura cerca de la salida de los digestores, la parte sólida se trasladará al proceso de compostaje en las instalaciones existentes, mientras que el escurrido obtenido será llevado a un depósito de rebombeo. Este depósito estará equipado con un sensor de nivel.

Previamente a la entrada a la ósmosis, el escurrido será sometido a una etapa de filtración mediante un tamizado con una luz de paso de 25 µm, con el objetivo de eliminar los sólidos en suspensión, que también se introducirán en el proceso de compostaje. Se dosificará coagulante en línea a la entrada del sistema de filtración con el objetivo de favorecer el proceso.

4.4.2 Ósmosis inversa (membranas vibratorias)

En primer lugar, se instala un paso de membranas vibratorias de alto nivel tecnológico, seguido de un segundo paso de membranas en enrollamiento espiral.

En la fase 1 se instalará un sistema de membranas vibratorias compuesto por dos módulos, membrana vibratoria y membranas en espiral, y, posteriormente, en la fase 2 se ampliará el sistema de membranas vibratorias a tres módulos.

El sistema VSEP es un revolucionario sistema de filtración de membrana vibratoria aplicable a una amplia variedad de separaciones industriales y procesos de reducción de volumen.

Las membranas utilizadas en los sistemas VSEP están hechas de varios polímeros como poliétersulfona, poliamida y otros compuestos de película delgada. Más de 200 tipos de membranas diferentes se emplean en los sistemas VSEP. En los sistemas VSEP, las membranas se fijan a una bandeja de acero y se apilan en una matriz, al igual que una configuración tradicional de placa y marco.

En los sistemas VSEP, las membranas RO se utilizan a menudo para aguas de elevada carga contaminante, como son los lixiviados. Las membranas RO tradicionales han sido problemáticas en el contexto industrial debido a su alto potencial de ensuciamiento. La vibración de VSEP mitiga este riesgo, abriendo así la puerta a una gran variedad de aplicaciones donde se desea la eliminación de contaminantes de bajo peso molecular de una corriente de aguas residuales.

Estas membranas funcionan de 300 a 1000 psi (21 a 69 bar) y pueden tolerar un rango de pH de 2-12, con altas tasas de filtración en separaciones para bajos pesos moleculares, de hasta 30 micras.

La alimentación en un sistema VSEP puede ser extremadamente viscosa y seguir siendo procesada con éxito. Su funcionamiento es sencillo, a medida que los elementos de la membrana vibran vigorosamente, las ondas cortantes producidas hacen que los sólidos y los materiales adheridos sean repelidos y el líquido fluya a través de los poros de membrana sin obstáculos.

Respecto a su construcción, este equipo tiene gran robustez al ser un sistema simple, compacto y cerrado. Además, se trata de un sistema compacto de poca necesidad de espacio para su implantación.

- **Operación del Sistema**

El sistema opera automáticamente vía PLC y válvulas automáticas. La bomba de alimentación inicia el sistema y una vez a régimen, la válvula de control del concentrado se cierra parcialmente para crear contrapresión en el sistema. Una vez la presión alcanza 30 psi, el motor de vibración busca el punto de consigna para proporcionar la vibración adecuada al sistema.

- **Componentes**

El sistema es completamente modular, de forma que las unidades de membrana se pueden instalar en serie o en paralelo.

4.4.3 Ósmosis inversa (membranas en espiral)

Como tratamiento de afino, el permeado del primer paso de ósmosis será conducido hasta un tratamiento de ósmosis inversa con membranas en espiral.

Como ya se ha introducido, la ósmosis es un fenómeno natural de difusión de dos soluciones de concentración distinta a través de una membrana semipermeable que hace las funciones de pared divisoria. El resultado del proceso es una reducción de la salinidad del agua reduciendo la conductividad existente, obteniendo las características en el agua para el uso deseado.

Las membranas elegidas son de configuración espiral. Son membranas de bajo ensuciamiento, con carga neutra sobre su superficie. Estas membranas tienen una gran resistencia química, pues pueden trabajar en un rango de pH de 2 a 13, lo que le confiere una gran facilidad de lavado y recuperación, al admitir gran variedad de productos químicos de lavado.

Para los iones monovalentes, la selectividad de separación varía entre el 90 y el 95%. Para los iones divalentes la selectividad es superior al 98% y para los coloides minerales u

orgánicos, bacterias y virus esta selectividad alcanza el 99,9%. Las membranas irán montadas en carcasas de presión.

El permeado constituirá el agua tratada que será conducida a vertido.

Por otra parte, el concentrado del primer paso de ósmosis será enviado a dos tanques de almacenamiento de concentrado de 50 m³.

4.4.4 Normativa para su empleo como fertilizante

Para la aplicación agrícola de este fertilizante debe seguirse la legislación de Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de lodos de depuración en el sector agrario, Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario y Ley 8/2020, de 16 de diciembre, por la que se adoptan determinadas medidas urgentes en materia de agricultura y alimentación.

Para poder emplear el producto como fertilizante, este debe salir de la planta de biogás con el código LER 190606 (Lodos de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos vegetales y animales), y si se pretende hacer un nuevo tipo de fertilizante líquido sería necesario mezclarlo con algún fertilizante mineral.

4.5 USOS DEL BIOMETANO EN APAYCACHANA

En APAYCACHANA se plantean varias alternativas de cómo emplear el biometano resultante del proceso de Upgrading. Debe tenerse en cuenta que el biometano obtenido tiene un porcentaje de metano superior al 95%, semejante al gas natural, por lo que el biometano podrá usarse en sustitución del gas natural.

4.5.1 Inyección a red de gas natural

La inyección del biometano en la red de gas natural es la alternativa que va a tomarse en este estudio. Su composición similar a la del gas natural hace posible el suministro de biometano en la red de gasoductos y facilitar su consumo, acceso y utilización en cualquier punto de la geografía nacional e internacional.

Las condiciones y estándares de calidad requeridos para que el biometano pueda ser inyectado en la red de gas natural y reemplazarlo como fuente de energía para industrias y viviendas están reguladas por la Unión Europea. Durante años llevan publicándose múltiples Reglamentos y Directivas que modelan la legislación en esta disciplina.

Se trata de Reglamentos y Directivas orientados a determinar los estándares de calidad del biometano, asegurar la eficiencia y seguridad en su uso, inyección en la red de gas de transporte y distribución, y también promocionar el desarrollo de energías renovables y ecológicas y favorecer su acceso al conjunto de la ciudadanía.

- **Directiva 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019.**

Normas comunes para el mercado interior de la electricidad donde se establece que también son válidas para el biometano y otros tipos de energía procedente de fuentes renovables.

- **Directiva 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018.**

Relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Se establece que el coste de conectar nuevos productores de energía renovable debe de ser objetivo, transparente y no discriminatorio. Además, establece que la inyección de biometano en el

mercado gasista facilitaría una mayor comercialización transfronteriza de dichos gases, y permitiría la creación de garantías de origen para otros gases renovables, como el hidrógeno.

- **Reglamento 2017/1938 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2017.**

Establece medidas para garantizar la seguridad del suministro de gas.

- **Resolución de 8 de Octubre de 2018.**

Entre otras cuestiones, en esta normativa se determina que el biometano inyectado en las redes debe cumplir las siguientes condiciones:

- El contenido en CO₂ no deberá superar en ningún momento el 2 mol %.
- El punto de rocío de agua no deberá superar en ningún momento los -8 ° C.
- El volumen de inyección de biometano en la red de transporte troncal no puede exceder nunca de 5.000 m³/h.
- El contenido en O₂ no podrá superar el 0,3 mol %.

Además, en esta Resolución se plantean las siguientes especificaciones.

Tabla 4.8 Especificaciones de calidad del gas procedente de fuentes no convencionales introducido en el sistema gasista

Propiedad	Unidad	Mínimo	Máximo
Metano (CH ₄)	Mol %	90	—
CO	Mol %	—	2
H ₂	Mol %	—	5
Compuestos halogenados	mg/m ³	—	10/1
Amoníaco	mg/m ³	—	3
Mercurio	µg/m ³	—	1
Siloxanos	mg/m ³	—	10
Benceno, Tolueno, Xileno	mg/m ³	—	500
Microorganismos	—	Técnicamente Puro	
Polvo/Partículas	—	Técnicamente Puro	

4.5.2 Autoconsumo en planta de cogeneración

El empleo de biometano en lugar de biogás para la combustión interna proporciona al proceso un mayor rendimiento y eficiencia energéticos, además de evitar un mayor desgaste de los equipos de combustión debido a las impurezas presentes en el biogás.

De momento esta opción no es considerada viable, debido a que el precio del gas natural empleado para la cogeneración es menor que el futuro precio de venta del biometano en el mercado gasista, por lo que se opta en un principio por la alternativa de venta total del biometano y continuar abasteciendo a la planta de cogeneración con gas natural.

5 RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Debido a la estabilidad del proceso y a la necesidad de abastecimiento de forma continua en los digestores, se ha dividido el estudio en dos fases. La primera de ellas contará con una menor cantidad de residuos orgánicos en previsión de una reducción en la generación y recepción de estos. La segunda fase, con mayor cantidad de residuos, es la más eficiente y la que mayores beneficios proporcionará.

Esta segunda fase del estudio es la que se considerará para realizar cálculos relacionados con los presupuestos, gastos anuales, ingresos, etc., porque es la fase más eficiente económica y técnicamente.

La venta de fertilizante, a la hora del cálculo de los ingresos anuales no se tendrá en cuenta debido a que supone unos ingresos irrelevantes comparados con los obtenidos por la venta de biometano. Por tanto, únicamente se tendrá en cuenta la venta del biometano mediante la inyección en la red de gas.

La venta de biometano supone unos ingresos anuales equivalentes a 2.392.007 €, mientras que los costes operacionales alcanzan 906.529 € al año, resultando un balance anual positivo de 1.485.478 €. Todo ello recogido en el Anexo C. Gastos e Ingresos Anuales.

La inversión consta de un total de 7.673.532 €, lo cual involucra el coste de todos los equipos necesarios para el inicio de actividad de la fase 2. El coste de inversión se encuentra detallado en el apartado presupuesto.

La planta de biometano definida en el presente estudio podrá amortizarse en un total de 5,67 años, dejando otros 15 años de vida útil de los equipos de total beneficio económico.

ANEXOS A LA MEMORIA

Índice de Anexos

ANEXOS A LA MEMORIA	90
Índice de Anexos	91
ANEXO A. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOMETANO	92
A.1 Toneladas de los residuos y características.....	92
A.2 Parámetros Digestión Anaerobia	93
A.3 Volumen de Biogás obtenido anualmente.....	93
A.4 Volumen de Biometano obtenido anualmente	95
ANEXO B. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE	96
B.1 Volumen de Salida y de materia seca de los residuos.....	96
B.2 Volumen de Agua vertida y Volumen de Concentrado de la Ósmosis.	97
ANEXO C. GASTOS E INGRESOS ANUALES	98
C.1 COSTES ANUALES.....	98
C.2 INGRESOS ANUALES.....	100
ANEXO D. DIAGRAMA DE FLUJOS PLANTA BIOMETANO.....	101
ANEXO E. ESTUDIO DE AMORTIZACIÓN	102

ANEXO A. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y BIOMETANO

A.1 Toneladas de los residuos y características

FASE 1

SUSTRATOS INICIALES	T/AÑO	MS	VOLÁTILES
Lodos de depuradora	30.000	17%	60%
Lodos conserveras	13.000	19%	77%
Lodos de depuradora industria alimentaria	17.000	20%	98%
Restos de verduras	1.000	20%	98%
TOTAL	61.000	—	—

FASE 2

SUSTRATOS INICIALES	T/AÑO	MS	VOLÁTILES
Estiércol Vacuno	21.000	23%	89%
Lodos de depuradora	30.000	17%	60%
Lodos conserveras	13.000	19%	77%
Lodos de depuradora industria alimentaria	17.000	20%	98%
Restos de verduras	1.000	20%	98%
TOTAL	82.000	—	—

Se estima una eliminación del 60% de sólidos volátiles en el proceso de digestión anaerobia, y una conversión directa a biogás con un porcentaje del 60% - 62%.

A.2 Parámetros Digestión Anaerobia

PARÁMETROS DIGESTIÓN ANAEROBIA		
Volumen de entrada diaria	224,7	T/d
Cantidad de Volátiles Diarios	30.458	kg MV/d
Unidades	2	ud
Diámetro	31,48	m
Altura Total	13.85	m
Volumen Neto	8614	m ³
Carga Orgánica	3,12	kg MV/m ³
Tiempo de Retención	39	d

A.3 Volumen de Biogás obtenido anualmente

Para calcular el volumen de biogás generado debe tenerse en cuenta el porcentaje de materia seca y de volatilidad de cada uno de los sustratos iniciales. Además, hay que tener en consideración el coeficiente de producción teórica de biogás por cada tonelada de residuo, conocido como Q.

$$Volumen\ Biogás = \frac{ton}{año} \times \%MS \times \%Volat. \times Q$$

FASE 1

SUSTRATOS INICIALES	T/AÑO	Q	Volumen Biogás (Nm ³ /año)
Lodos de depuradora	30.000	460	1.407.600
Lodos conserveras	13.000	360	684.684
Lodos de depuradora industria alimentaria	17.000	700	1.130.500
Restos de verduras	1.000	650	127.400
TOTAL	61.000	—	3.350.184

FASE 2

SUSTRATOS INICIALES	T/AÑO	Q	Volumen Biogás (Nm ³ /año)
Estiércol Vacuno	21.000	400	1.719.480
Lodos de depuradora	30.000	460	1.407.600
Lodos conserveras	13.000	360	684.684
Lodos de depuradora industria alimentaria	17.000	700	1.130.500
Restos de verduras	1.000	650	127.400
TOTAL	82.000	—	5.069.664

Es importante remarcar que quedará una fracción de materiales orgánicos inertes (no biodegradables) y refractarios (difíciles de digerir), tales como la lignina, la celulosa, etc. Sin tratamientos de descomposición avanzada, que son caros y de compleja aplicación, o tiempos de retención excesivamente largos, este porcentaje de productos no valorizados siempre quedará.

La producción de biogás se ha estimado por conversión de los volátiles en un biogás que será un 60% - 62% de CH₄, 37 - 39% de CO₂, 0,2% de O₂ y 0,8% de N₂.

A.4 Volumen de Biometano obtenido anualmente

Una vez obtenido el volumen de biogás, tras el procedimiento de Upgrading, obtenemos el volumen estimado de biometano resultante en la segunda fase. Se considera que el volumen de metano se obtiene del producto del volumen total de biogás, el porcentaje de metano presente y el porcentaje de recuperación del mismo:

$$CH_4 \text{ puro} = \text{Volumen Biogás} \times \%CH_4 \times \%Recuperación CH_4$$

	FASE 2
Producción Biogás (Nm³/año)	5.069.664
Producción Biogás (Nm³/h)	578,7
Demanda Térmica Caldera (Nm³/h)	100
Volumen Biogás para Biometano (Nm³/h)	478,7
CH₄ presente en Biogás (%)	60%
Recuperación de CH₄	99.5%
CH₄ puro (Nm³/h)	285,801
Poder Calorífico CH₄ (kWh/Nm³)	11.07
MWh venta biometano	3.164
MWh/año biometano	26.577,86

ANEXO B. CÁLCULOS SOBRE LA PRODUCCIÓN DE FERTILIZANTE

B.1 Volumen de Salida y de materia seca de los residuos.

Teniendo en cuenta la cantidad de toneladas y los porcentajes de materia seca y sólidos volátiles de cada uno de los residuos, puede obtenerse el volumen de residuos de salida del digestor y la cantidad de materia seca presente en dicho volumen.

$$\text{Volumen de Salida} = \frac{\text{ton}}{\text{año}} \times (1 - \%MS \times \%Volatilidad \times 0.65)$$

$$\text{Volumen de MS} = \frac{\text{ton}}{\text{año}} \times \%MS \times (1 - \%Volatilidad \times 0.65)$$

FASE 1

SUSTRATOS INICIALES	T/año	Volumen Salida (T/año)	Volumen de MS (T/año)
Lodos de depuradora	30.000	28.011	3.111
Lodos conserveras	13.000	11.764	1.234
Lodos de depuradora industria alimentaria	17.000	15.950	2.180
Restos de verduras	1.000	873	73
TOTAL	61.000	56.958	6.598

FASE 2

SUSTRATOS INICIALES	T/AÑO	Volumen de Salida (T/año)	Volumen de MS (T/año)
Estiércol Vacuno	21.000	18.206	2.036
Lodos de depuradora	30.000	28.011	3.111
Lodos conserveras	13.000	11.764	1.234

Lodos de depuradora industria alimentaria	17.000	15.950	2.180
Restos de verduras	1.000	873	73
TOTAL	61.000	74.803	8.633

$$Vol. Dig. Sólido = \frac{Vol. Total MS}{0.25} \times 0.73$$

$$Vol. Dig. Líquido = Vol. Dig. Bruto - Vol. Dig. Sólido$$

$$Vol. Agua Vertido = Vol. Dig. Líquido \times 0.69$$

$$Vol. Concentrado Ósmosis = Vol. Dig. Líquido - Vol. Agua Vertido$$

B.2 Volumen de Agua vertida y Volumen de Concentrado de la Ósmosis.

DIGESTIÓN ANAEROBIA (FASE 1)		
Volumen de Digestato Bruto	56.598	ton/año
Volumen de Digestato Sólido	19.265	ton/año
Volumen de Digestato Líquido	37.333	ton/año
Volumen de Agua para Vertido	25.579	ton/año
Volumen Concentrado Ósmosis	11.573	ton/año

DIGESTIÓN ANAEROBIA (FASE 2)		
Volumen de Digestato Bruto	74.803	ton/año
Volumen de Digestato Sólido	25.210	ton/año
Volumen de Digestato Líquido	45.594	ton/año
Volumen de Agua para Vertido	34.220	ton/año
Volumen Concentrado Ósmosis	15.374	ton/año

ANEXO C. GASTOS E INGRESOS ANUALES

C.1 COSTES ANUALES

ELECTRICIDAD	FASE 1	FASE 2	Unidades
Digestión anaerobia	828.487	952.760	kWh/año
Upgrading	1.108.800	1.547.280	kWh/año
Ósmosis Inversa	376.345	381.502	kWh/año
Auxiliares (AC, compresor, caldera, Alumbrado...)	111.690	111.690	kWh/año
TOTAL CONSUMO ELÉCTRICO	2.425.322	2.993.232	kWh/año
TOTAL COSTE ELÉCTRICO	339.545	419.053	€/año

CALOR	FASE 1	FASE 2	Unidades
Energía Térmica Digestión Anaerobia	2.001.000	2.614.200	kWh/año
COSTE TERMICO (BIOMASA)	53.360	69.712	€/año
Higienización digestato	1.554.000	1.806.000	kWh/año
COSTE TERMICO (BIOMASA)	41.440	48.160	€/año
TOTAL COSTE TÉRMICO	94.800	117.872	€/año

PRODUCTOS QUÍMICOS	FASE 1	FASE 2	Unidades
Dosificación cloruro férrico	—	—	kg/año
Agua de red	12.780	14.970	m ³ /año
Dosificación cleaner RO	4.790	4.855	kg/año
TOTAL PRODUCTO QUÍMICO	31.455	32.511	€/año

REPARACIONES Y CONSUMIBLES	FASE 1	FASE 2	Unidades
Mantenimiento preventivo y correctivo	33.875	42.825	€/año
Consumibles Upgrading	9.330	10.729	€/año
Mantenimiento preventivo Upgrading	44.100	44.100	€/año
Membranas ósmosis inversa	74.452	110.685	€/año
TOTAL CONSUMIBLES	161.756	208.339	€/año

EXPLOTACIÓN DE PLANTA	FASE 1	FASE 2	Unidades
Seguros, analíticas, gastos de gestión	30.000	30.000	€/año
Asesoría jurídica	15.000	15.000	€/año
Asistencia técnica externa	_____	_____	€/año
Jefe de Planta	28.350	28.350	€/año
Electromecánico de planta	_____	_____	€/año
Operadores	42.525	42.525	€/año
TOTAL COSTES EXPLOTACIÓN	115.875	115.875	€/año

COSTES DIVERSOS	FASE 1	FASE 2	Unidades
Canon vertido agua depurada	12.880	12.880	€/año
TOTAL OTROS COSTES	12.880	12.880	€/año

Resumen Costes Totales

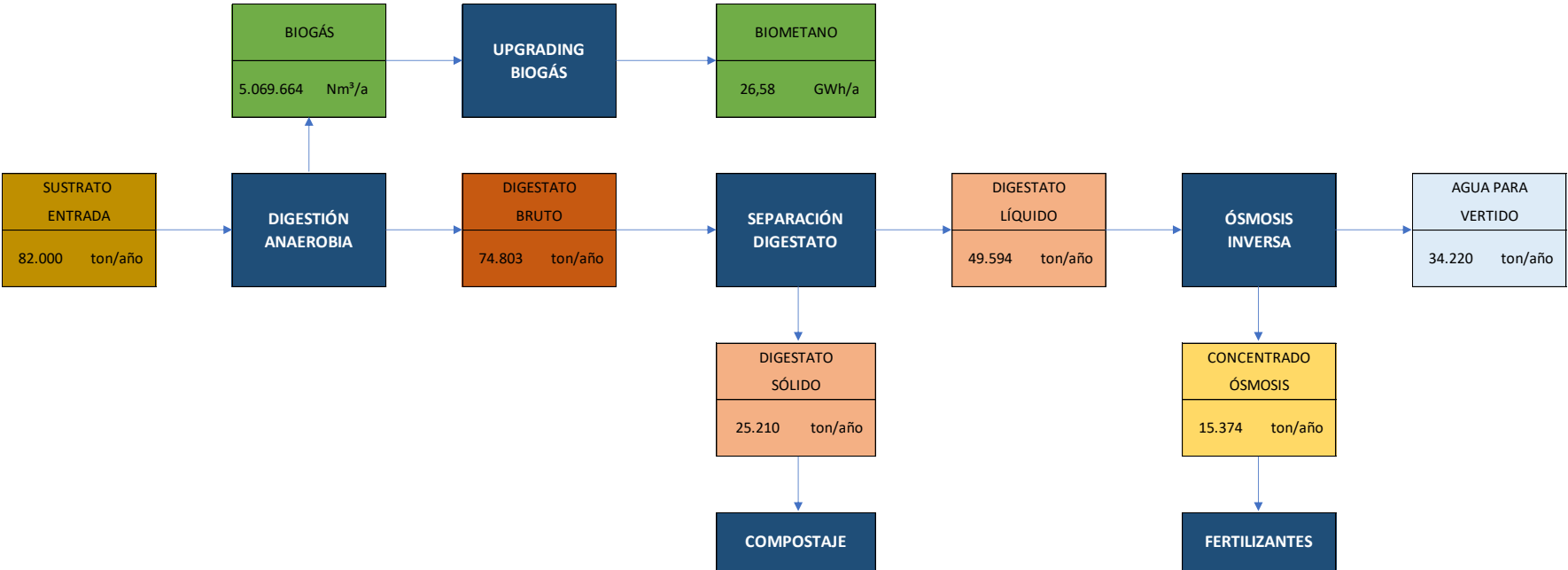
COSTES TOTALES	FASE 1	FASE 2	Unidades
COSTE ELÉCTRICO	339.545	419.053	€/año
COSTE TÉRMICO	94.800	117.872	€/año
PRODUCTO QUIMICO	31.455	32.511	€/año
CONSUMIBLES	161.756	208.339	€/año
COSTES EXPLOTACIÓN	115.875	115.875	€/año
OTROS COSTES	12.880	12.880	€/año
TOTAL	756.312	906.529	€/año

C.2 INGRESOS ANUALES

INGRESOS	FASE 1	FASE 2	Unidades
Venta de biometano	1.910.898	2.392.007	€/año
TOTAL INGRESOS	1.910.898	2.392.007	€/año

Se estima un precio de venta de biometano de 90 €/MWh para contratos de venta a largo plazo (10 años) que proporcionan estabilidad y seguridad a la financiación del proyecto.

ANEXO D. DIAGRAMA DE FLUJOS PLANTA BIOMETANO



ANEXO E. ESTUDIO DE AMORTIZACIÓN

AÑOS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15
INGRESOS	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007
GESTION DE LOS RESIDUOS															
AUGM. RENDIMIENTO por VENTA CO2															
VENTA BIOMETANO	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007	2.392.007
GESTION DIGESTATO															
GASTOS	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529	906.529
GASTOS EXPLOTACION															
Seguros, analíticas, gastos de gestión	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Assesoria juridica	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Jefe de Planta	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350	28.350
Operadores	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525	42.525
GASTOS OPERATIVOS															
BIODIGESTIÓN															
Consumo electricidad	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386	133.386
Consumo calor	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712	69.712
Productos quimicos	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511	32.511
Reparacion y consumibles	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825	42.825
UP-GRADING															
Consumo eléctrico	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619	216.619
Consumo calor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reparacion y consumibles	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829	54.829
HIGIENIZACION															
Consumo calor	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160	48.160
OSMOSIS															
Consumo eléctrico	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410	53.410
Consumo calor	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consumibles, preventivo + correctivo	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685	110.685
Otros consumos															
Canon vertido agua depurada	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880	12.880
Auxiliares (AC, compresor, caldera, Alumbrado...)	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637	15.637
RESULTADO EXPLOTACION	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478	1.485.478
AMORTIZACION	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569	511569
EBIT	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910	973910
INTERESES	12573	11838	11002	10164	9324	8484	7642	6798	5953	5107	4259	3410	2560	1708	855
BENEFICIOS ANTES DE IMPUESTO	961336	962071	962908	963746	964585	965426	966268	967111	967956	968802	969650	970499	971350	972202	973055
IMPUESTO SOCIEDADES	240334	240518	240727	240936	241146	241356	241567	241778	241989	242201	242413	242625	242837	243050	243264
BENEFICIO NETO	721.002	721.553	722.181	722.809	723.439	724.069	724.701	725.334	725.967	726.602	727.238	727.874	728.512	729.151	729.791

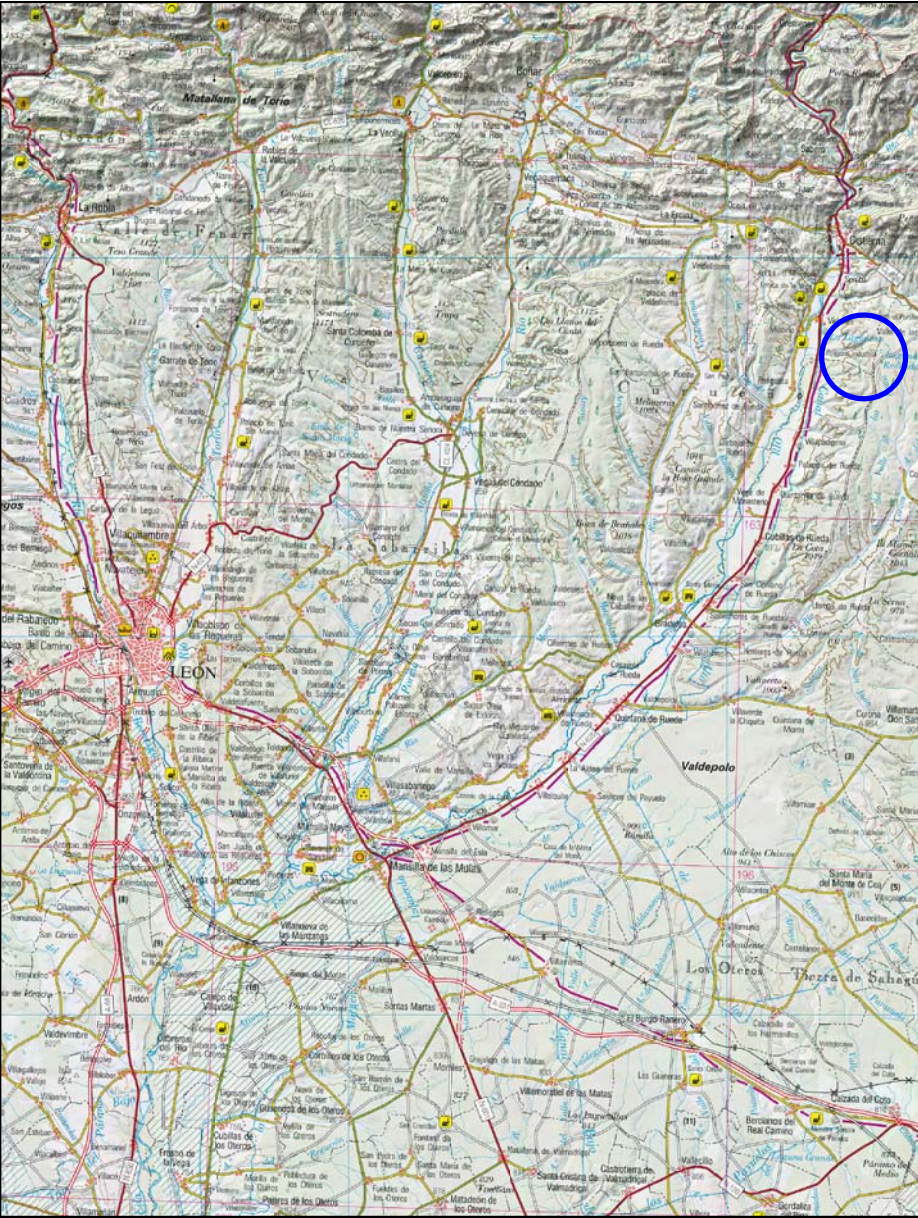
DOCUMENTO II: PLANOS

Índice de Planos

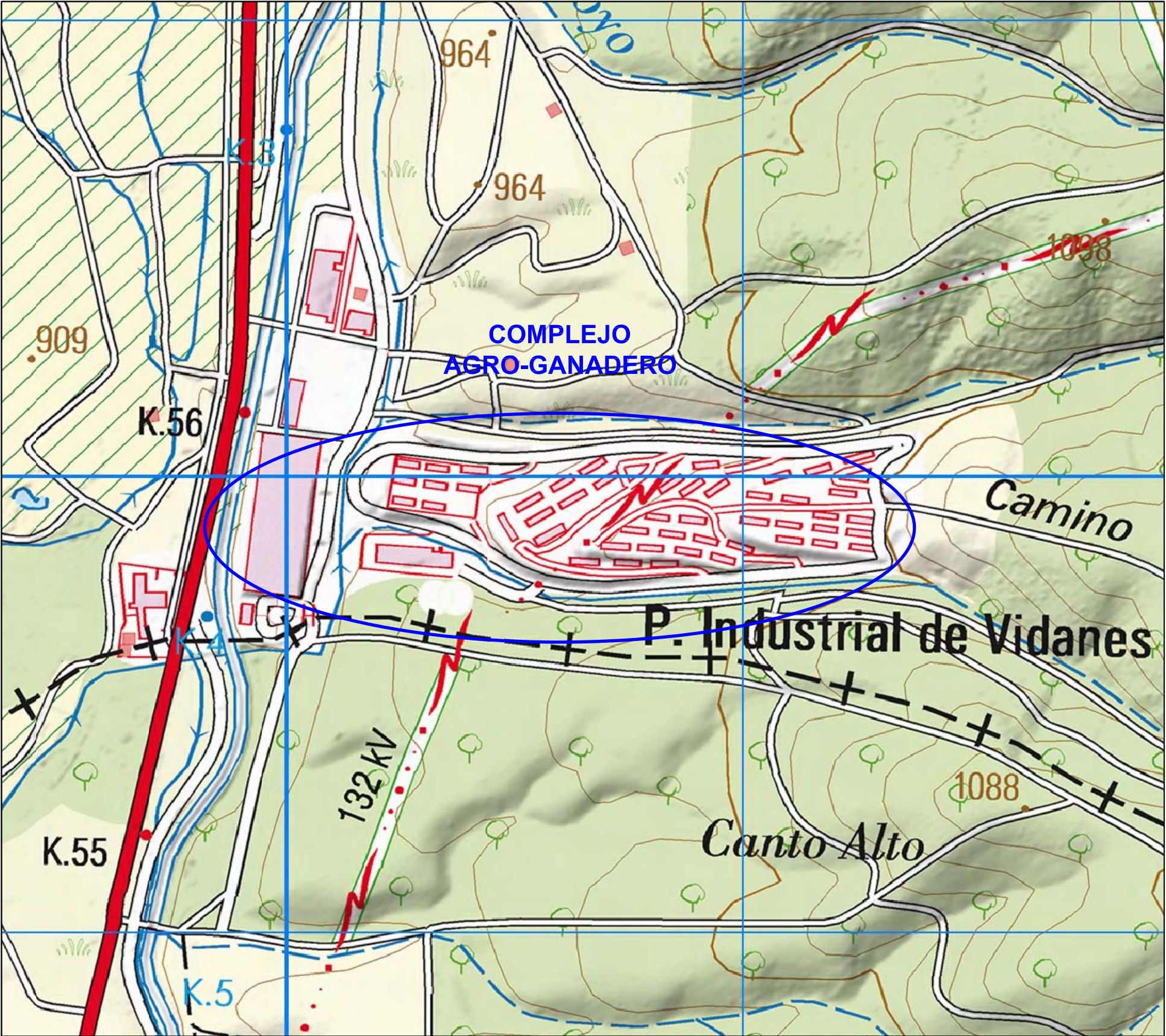
DOCUMENTO II: PLANOS	103
Índice de Planos	104
PLANO 1 LOCALIZACIÓN	105
PLANO 2 PLANTA ENERGÉTICO	106
PLANO 3 PLANTA Y SECCIONES INVERNADERO	107
PLANO 4 PLANTA Y SECCIONES COMPOSTAJE	108
PLANO 5 IMPLANTACIÓN PLANTA BIOMETANO	109



ESPAÑA ESCALA 1:200.000.000



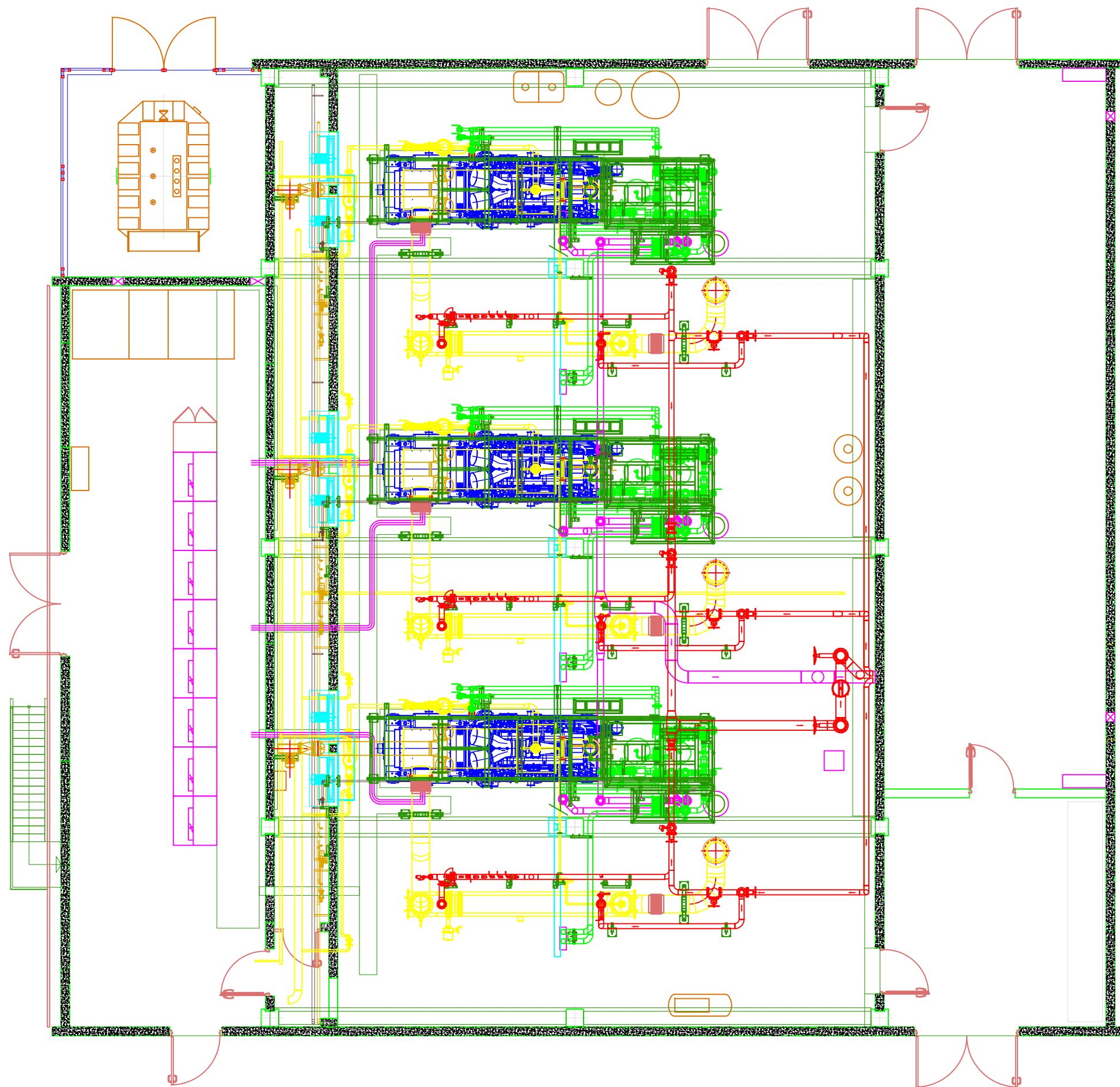
LEÓN 1:8.000.000



POLÍGONO INDUSTRIAL DE VIDANES 1:500.000

REF. CATASTRAL:
• 24058A211050010000JH

		MEMORIA: ESTUDIO IMPLANTACIÓN PLANTA BIOMETANO		
PLANO: LOCALIZACIÓN		ESCALA: VARIAS	FECHA: JULIO 2022	Nº PLANO: 1
DIBUJADO: CARLOS MARTÍNEZ ANGULO				



PLANTA ENERGÉTICO



PLANO: PLANTA BAJA
IMPLANTACIÓN EQUIPOS
ENERGÉTICO

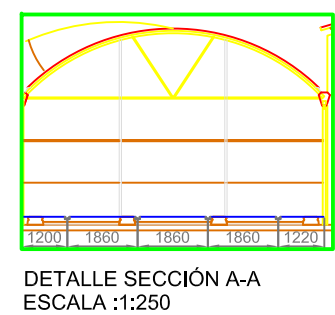
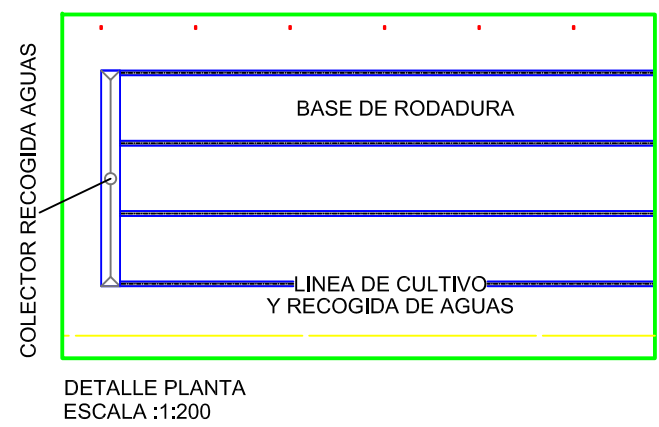
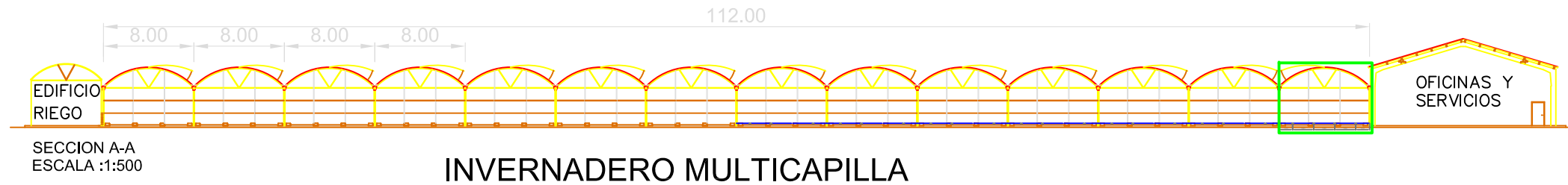
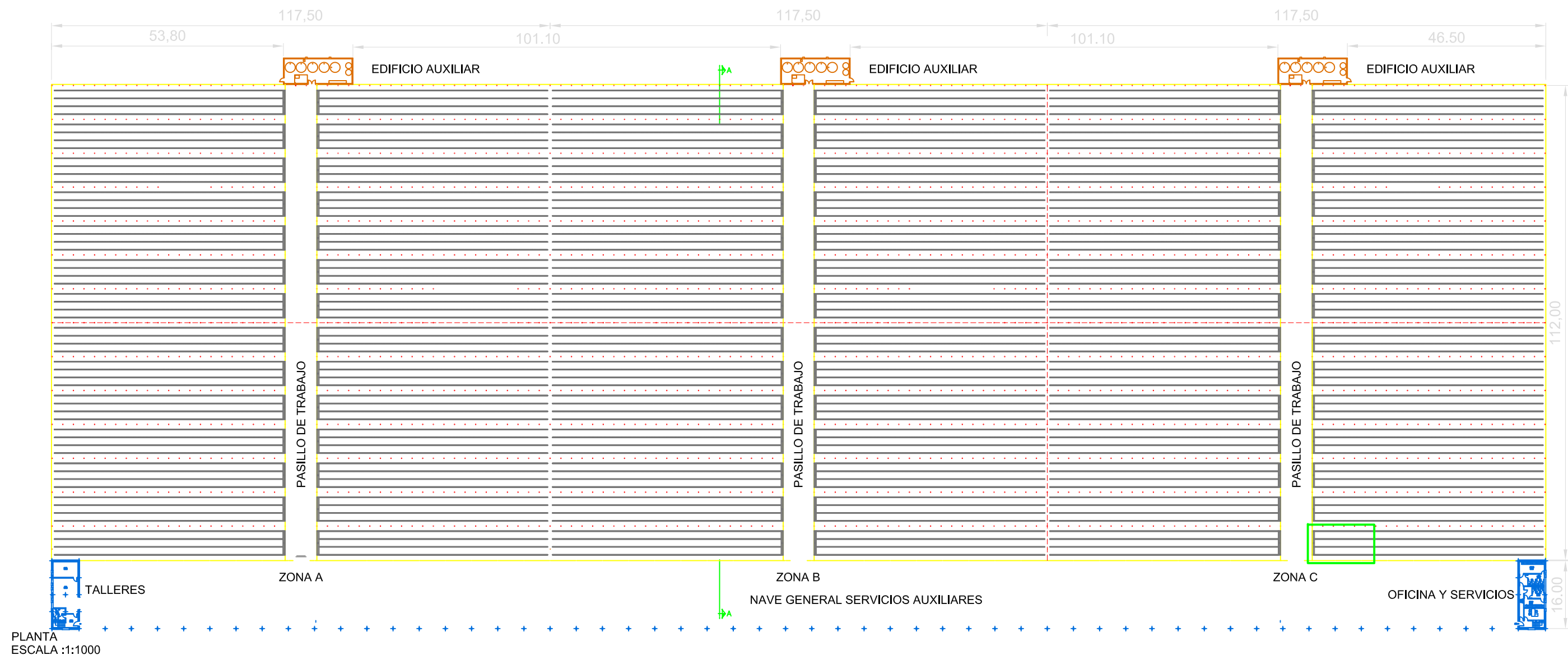
DIBUJADO: CARLOS MARTÍNEZ ANGULO

MEMORIA: ESTUDIO IMPLANTACIÓN
PLANTA BIOMETANO

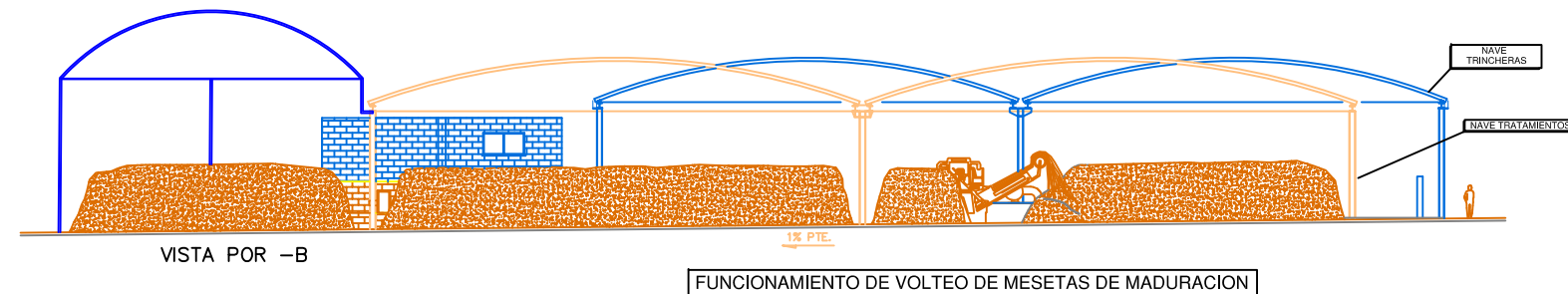
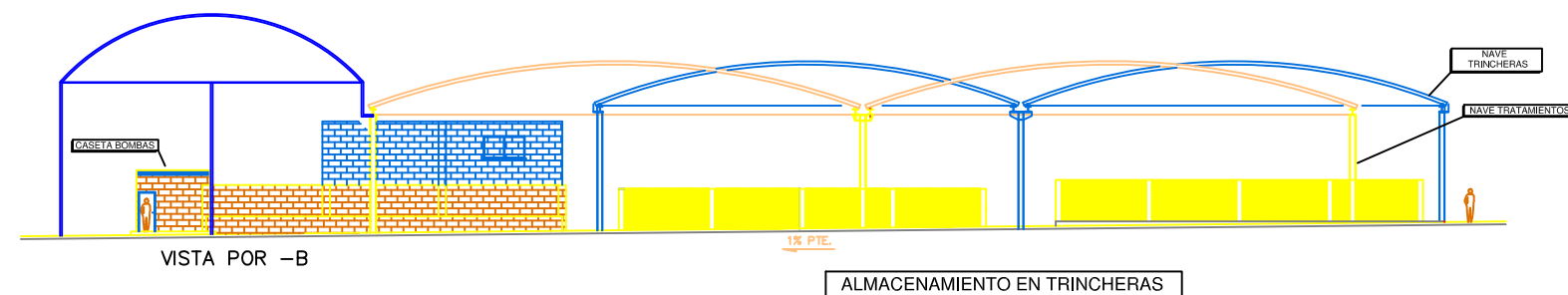
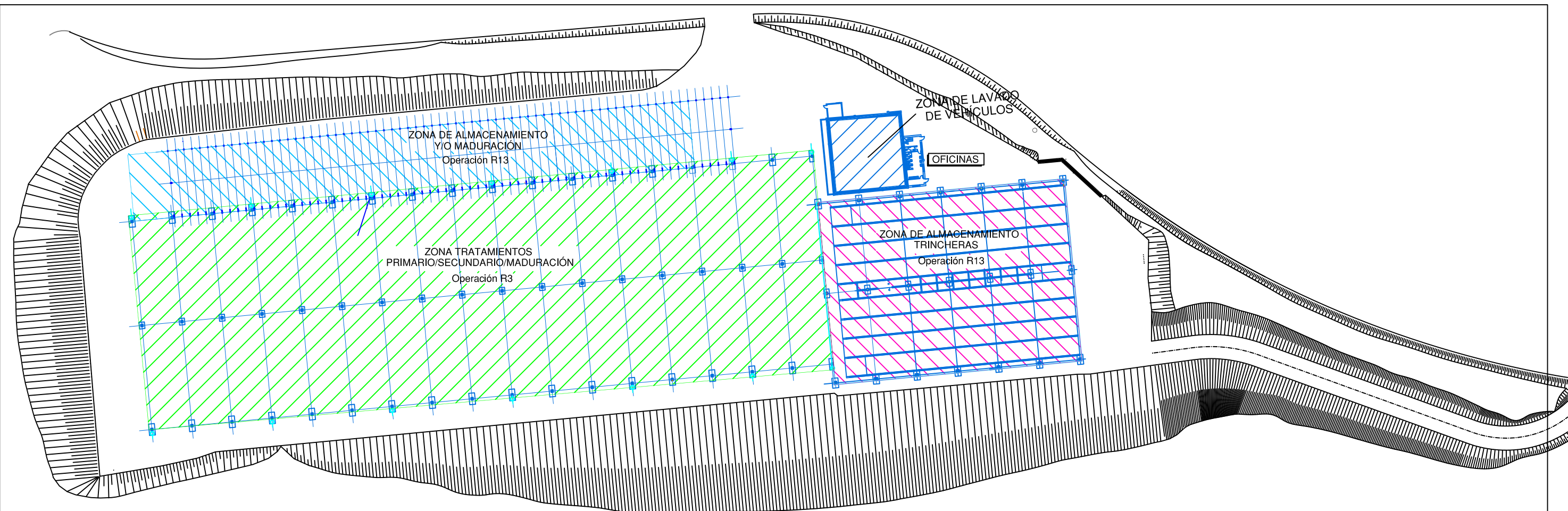
ESCALA:
1:100

FECHA:
JULIO
2022

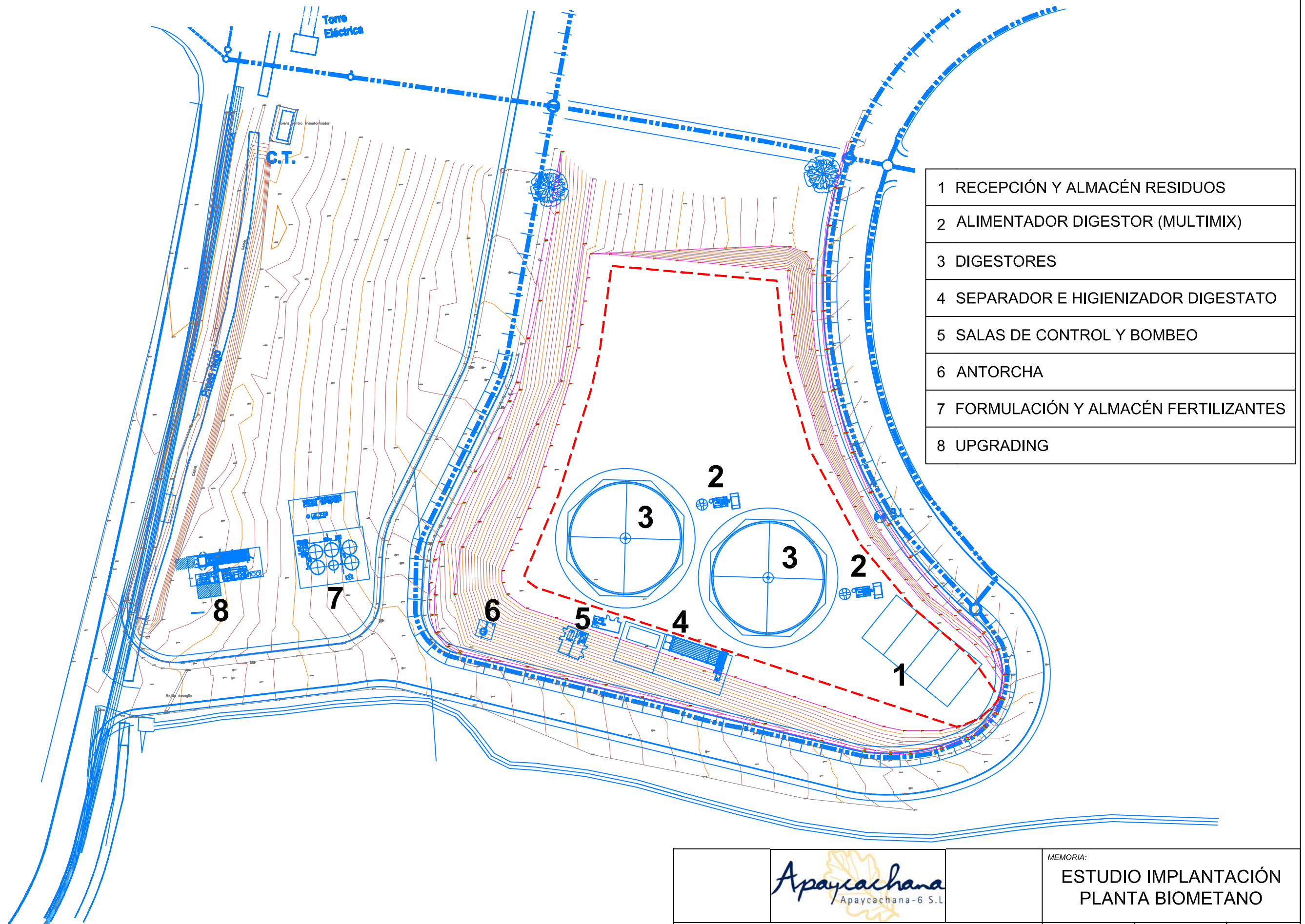
Nº PLANO:
2



		MEMORIA: ESTUDIO IMPLANTACIÓN PLANTA BIOMETANO		
PLANO: PLANTA Y SECCIONES INVERNADERO		ESCALA: VARIAS	FECHA: JULIO 2022	Nº PLANO: 3
DIBUJADO: CARLOS MARTÍNEZ ANGULO				



		MEMORIA: ESTUDIO IMPLANTACIÓN PLANTA BIOMETANO		
PLANO: PLANTA Y SECCIONES COMPOSTAJE		ESCALA: VARIAS	FECHA: JULIO 2022	Nº PLANO: 4
DIBUJADO: CARLOS MARTÍNEZ ANGULO				



		MEMORIA: ESTUDIO IMPLANTACIÓN PLANTA BIOMETANO		
PLANO:	PLANTA IMPLANTACIÓN BIOMETANO	ESCALA:	FECHA:	Nº PLANO:
DIBUJADO:	CARLOS MARTÍNEZ ANGULO	SE	JULIO 2022	5

DOCUMENTO III: PLIEGO DE CONDICIONES

1 ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES

PLIEGO DE CONDICIONES	110
1 ÍNDICE DE PLIEGO DE CONDICIONES	111
2 DISPOSICIONES GENERALES.....	112
3 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES	115
3.1 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER FACULTATIVO.....	115
3.2 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER ECONÓMICO	124
3.3 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER LEGAL	126
3.4 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER TÉCNICO	126
4 TRABAJOS EN LA EJECUCION DE LAS OBRAS	128
4.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS	128
4.2. CIMENTACIONES Y SOLERAS.....	136
4.3 ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	139
4.4 ALBAÑILERÍA	148
4.5 MONTAJE MECÁNICO	155
4.6 MONTAJE ELÉCTRICO	166

2 DISPOSICIONES GENERALES

A.- OBRAS QUE SE PROYECTAN

Las obras que se proyectan son las que se especifican en los documentos adjuntos: Memoria, Planos y Presupuesto, y también todas las necesarias para dejar totalmente terminadas las obras objeto de este proyecto.

B.- PLANOS

Las distintas instalaciones se ajustarán en cuanto a dimensiones y características técnicas y constructivas a los Planos As-Built que se generen para este Proyecto.

C.- DIRECCIÓN E INSPECCIÓN DE LOS TRABAJOS

Todo el personal que intervenga en la ejecución de la obra se considerará a todos los efectos como dependiente de la Empresa Constructora.

La Dirección Facultativa podrá disponer la suspensión de la obra, cuando observara alguna anomalía o se considere que no se realiza de acuerdo a lo proyectado, pudiendo la Dirección Facultativa ordenar la demolición y sustitución de la obra ejecutada, siendo todos los gastos que se originen por cuenta de la Empresa Instaladora.

La Propiedad y la Dirección Facultativa, se reservan el derecho de exigir la sustitución en la obra del personal de la Empresa Instaladora que diera lugar a quejas fundadas o que no reúna las condiciones de aptitud suficientes a juicio de la Dirección Facultativa.

D.- MODIFICACIONES Y ALTERACIONES DEL TRABAJO

La Propiedad queda autorizada, previa conformidad de la Dirección Facultativa, para reducir o eliminar unidades del Proyecto, con la consiguiente reducción o eliminación de los importes correspondientes, sin que por ello pueda la Empresa Instaladora efectuar reclamación alguna.

Asimismo, si es necesaria la realización de trabajos no incluidos en el Proyecto, se fijarán previamente los respectivos precios de ejecución.

E.- DERECHOS Y OBLIGACIONES DE LA EMPRESA CONSTRUCTORA

La obra se llevará a cabo con estricta sujeción a las condiciones de este Pliego de Condiciones, al proyecto y detalles indicados en el mismo, y a cuantas operaciones sean necesarias para que la instalación quede completamente bien acabada, aunque no se indiquen expresamente en estos documentos.

Para resolver cualquier duda en la interpretación de los documentos del proyecto, la Empresa Constructora consultará a la Dirección Facultativa, obligándose a volver a ejecutar cuantas partes del trabajo no se hubiesen realizado con arreglo a lo estipulado.

Los planos de obra y los replanteos se ajustarán a las cotas indicadas en los planos del proyecto. En caso de que alguna cota faltase, se consultará al respecto con la Dirección Facultativa.

La Empresa Constructora no podrá, bajo pena de rescisión del contrato con pérdida de las retenciones que se establezcan, transmitir, ceder o traspasar toda o parte de sus obligaciones sin previo consentimiento de la Dirección Facultativa y de conformidad con la Propiedad.

La Empresa Constructora cuidará de mantener la debida vigilancia para la protección de todo el personal con acceso a los materiales, maquinaria y demás elementos utilizados en la misma, de conformidad con lo establecido en el Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

F.- RESPONSABILIDADES

La Empresa Constructora asumirá en todo caso las siguientes responsabilidades:

- Por daños a personas, animales o cosas, por defecto directo o indirecto de las obras y trabajos de su personal, vehículos, herramientas o materiales que utilice. A tal efecto quedará en libertad de escoger los medios de señalización, seguridad, etc., que considere necesarios dentro de las normas y reglamentos vigentes.

- Por incumplimiento de sus obligaciones laborales, accidentes de trabajo, incumplimiento del Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, en cuanto se refiera al personal por él utilizado, directa o indirectamente para el cumplimiento del contrato.
- De la calidad de los materiales que se utilicen, de la dosificación aprobada de los mismos y de la correcta aplicación de los métodos de trabajo, en consecuencia, de la repercusión que estas anomalías puedan tener en la obra realizada.
- Ante las respectivas Autoridades del Estado, Comunidad, Provincia o Municipio o de otros Organismos por el incumplimiento de las disposiciones marcadas por los mismos.
- Independientemente de todo lo anteriormente expuesto, la Empresa Constructora deberá cumplir todo cuanto establecen las leyes a este respecto.

G.- SIMILITUD DE MATERIALES

Algunos de los materiales que hayan de emplearse, podrán proceder de distintos fabricantes, siempre que se ajusten estrictamente a los requisitos estipulados en el presente Pliego de Condiciones Técnicas, a los marcados por la Compañía Suministradora en su caso y previa aprobación de la Dirección Facultativa.

3 PLIEGO DE CONDICIONES PARTICULARES

Todas las obras a realizar, para la totalidad de este Proyecto, se ajustarán, en las partes no expuestas expresamente en este Pliego de Condiciones Particulares, a lo prescrito en las condiciones facultativas y económicas del Pliego de Condiciones Generales de la Edificación, compuesto por el Centro de Estudios de la Edificación, aprobado por el Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España de Julio de 1.989. Asimismo, se ajustarán a lo último actualizado en esta materia.

3.1 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER FACULTATIVO

Oficina De Obra Del Contratista

En los casos en que la Dirección Facultativa lo estime oportuno, el Contratista deberá instalar antes del comienzo de las obras, y mantener durante la ejecución de las mismas, una oficina de obra en el lugar que considere más apropiado previa conformidad con la Dirección Facultativa.

El Contratista deberá, necesariamente, conservar en ella una copia autorizada de los documentos contractuales del Proyecto y el “Libro de Ordenes”. El Contratista no podrá proceder al cambio o traslado de la oficina de obra sin previa autorización de la Dirección Facultativa.

Presencia Del Contratista En La Obra

Se entiende por representante o encargado de obra del Contratista, la persona designada expresamente por el Contratista y aceptada por la Dirección Facultativa, con capacidad suficiente para:

1. Ostentar la representación del Contratista cuando sea necesaria su actuación o presencia en cualquier acto derivado del cumplimiento de las obligaciones contractuales, siempre en orden a la ejecución y buena marcha de las obras.
2. Organizar la ejecución de la obra e interpretar y poner en práctica las órdenes recibidas de la Dirección Facultativa.

3. Proponer a esta o colaborar con ella en la resolución de los problemas que se planteen durante la ejecución.

El Contratista, por sí o por medio de su representante o encargado, estará en la obra durante la jornada legal de trabajo, y acompañará a la Dirección Facultativa, en las visitas que ésta realice a las obras, poniéndose a su disposición para la práctica de los reconocimientos que considere necesarios y suministrar los datos precisos para la comprobación de mediciones y liquidaciones. Estos requisitos tendrán el carácter de obligatorios. Asimismo, los materiales fabricados en taller, tales como viguetas, cargaderos, etc. Del material que sean, deberán llevar garantía de fabricación y del destino que se les determina, siendo el Contratista responsable de los accidentes que ocurran por incumplimiento de esa disposición o por no tomar las debidas precauciones.

Trabajos No Especificados Expresamente En Este P.C.P.

Es obligación del Contratista, el ejecutar cuanto sea necesario para la buena construcción y aspecto de las obras, siempre que, sin separarse de su espíritu y recta interpretación, lo disponga la Dirección Facultativa y dentro de los límites de posibilidades para cada tipo de ejecución.

Todo lo mencionado en este Pliego de Condiciones y omitido en los planos y demás documentos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en dichos documentos, siempre que a juicio de la Dirección Facultativa, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente.

Si en virtud de alguna disposición de la Dirección Facultativa de la obra se introdujese alguna reforma que suponga aumento o disminución del presupuesto, el Contratista queda obligado a ejecutarlas con los precios que figuren en el Presupuesto de contrata y de no haberlos, se establecerán previamente de mutuo acuerdo o basados en cualquier Base de Precios vigente en la zona, siempre con el Vº Bº de la Dirección Facultativa.

Reclamaciones Contra Las Órdenes De La Dirección Facultativa

Las reclamaciones que el Contratista quiera hacer contra las órdenes de la Dirección Facultativa, sólo podrá presentarlas a través del mismo, ante la propiedad, si ellas son de orden económico.

Recusación Por El Contratista Del Personal Nombrado Por La Dirección Facultativa

El Contratista, no podrá recusar a la Dirección Facultativa en Ejecución de Obras, o personal de cualquier índole, dependientes de la Dirección Facultativa o de la propiedad, encargados de la vigilancia de las obras, ni pedir que, por parte de la propiedad, se designe a otros facultativos para los reconocimientos y mediciones.

Libro De Órdenes Y Asistencias

El Contratista tendrá siempre en la oficina de la obra y a disposición de la Dirección Facultativa un Libro de Ordenes, previamente diligenciado, en el que se redactarán las órdenes que dicha Dirección crea oportuno dar al Contratista para que adopte las medidas precisas que eviten falsas interpretaciones, durante la ejecución de las obras, del Proyecto aprobado; las que crea necesarias para subsanar o corregir las posibles deficiencias constructivas que haya observado en sus visitas a la obra, y en suma, todas las que juzgue indispensables para que los trabajos se lleven a cabo de acuerdo y en armonía con los documentos del Proyecto.

Cada orden deberá ser extendida y firmada por la Dirección Facultativa y el enterado suscrito con la firma del Contratista o la de su encargado en la obra. La copia de cada orden extendida quedará en poder de la Dirección Facultativa, quedando el original adherido al libro y en la oficina de la obra.

El hecho de que en el citado Libro de Órdenes no figuren redactadas la órdenes que ya preceptivamente tiene la obligación de cumplimiento el Contratista, de acuerdo con lo establecido en este Pliego de Condiciones o en el mencionado Pliego de Condiciones Generales de la Edificación, no supone eximente ni atenuante alguna, para las responsabilidades que sean inherentes al Contratista. En el caso de que exista peligro de ruina, o simple deterioro, de una finca colindante, el Contratista avisará de forma expresa a

la Dirección Facultativa y se dará cuenta al propietario contiguo del estado de su propiedad, para que se ponga remedio para la consolidación a la misma.

La Dirección Facultativa tendrá en todo momento, la capacidad para dar las órdenes oportunas al Contratista o a su encargado, para que se adopten las medidas precisas que eviten, en lo posible, los accidentes de todo género que puedan ocurrir a los obreros o viandantes, siendo obligación del Contratista el hacer cumplir expresamente a su personal, las medidas de Seguridad e Higiene que el Aparejador o Arquitecto Técnico en Ejecución de Obras, crea necesarias.

Caminos Y Accesos

El Contratista construirá o habilitará por su cuenta, los caminos y vías de acceso y comunicación de cualquier tipo, por donde se hayan de transportar los materiales a la obra, cuando, para ello, exista necesidad en opinión de la Dirección Facultativa.

El Contratista-Constructor dejará la obra, a su terminación, limpia y libre de escombros o material sobrante.

Comienzo De La Obra

Obligatoriamente y por escrito, deberá el Contratista dar cuenta a la Dirección Facultativa, el comienzo de los trabajos antes de transcurrir veinticuatro horas de su iniciación, previa concesión, de la oportuna Licencia de Obra, desarrollándolos en la forma necesaria para que dentro de los períodos parciales señalados con anterioridad, queden ejecutadas las obras correspondientes y que, en consecuencia, la ejecución total se lleve a efecto dentro del plazo exigido en el Contrato.

La responsabilidad como Dirección Facultativa, no comenzará hasta tanto no se produzca esta comunicación tras la oportuna Licencia Municipal de Obras.

Orden De Los Trabajos

En general, la determinación del orden de los trabajos será facultad potestativa de la contrata, salvo aquellos casos en que, por cualquier circunstancia de orden técnico o facultativo, estime conveniente su variación la Dirección Facultativa.

Estas órdenes deberán comunicarse por escrito a la contrata, y ésta vendrá obligada a su estricto cumplimiento, siendo directamente responsable de cualquier daño o perjuicio que pudiera sobrevenir por su incumplimiento.

Ampliación Del Proyecto Por Causas Imprevistas O Fuerza Mayor

El Contratista está obligado a realizar con su personal y materiales, cuanto la Dirección Facultativa de las obras disponga, para apeos, apuntalamientos, derribos, recalces o cualquier otra obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en el presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

Si antes de comenzar las obras, o durante su construcción la entidad propietaria de acuerdo con la Dirección Facultativa, resolviese ejecutar por sí parte de las obras que comprende la contrata, suministre material o aparatos, o acordase introducir en el Proyecto modificaciones que impongan aumento o reducción, y aun supresión de las cantidades de obra marcadas en el Presupuesto o sustitución de una clase de fábrica por otra, serán obligatorias para el Contratista estas disposiciones, sin que tenga derecho en caso de supresión o reducción de obra, a reclamar ninguna indemnización a pretexto de pretendidos beneficios que hubiera podido obtener en la parte reducida o suprimida.

Aun cuando las reformas hicieran variar los trazados, si se le participan al Contratista con la debida anticipación, a juicio de la Dirección Facultativa, no podrá exigir indemnización alguna bajo ningún concepto.

Tendrá derecho, en caso de modificación o ampliación, a que se le prorrogue prudencialmente, siempre a juicio de la Dirección Facultativa, el plazo para la terminación de las obras.

Si para llevar a efecto las modificaciones a que se refiere el presente artículo juzgase necesario la Dirección Facultativa, suspender el todo o parte de las obras contratadas, se comunicará por escrito la orden correspondiente al Contratista, procediéndose a la medición de la obra ejecutada en la parte a que alcance la suspensión, y extendiéndose acta del resultado.

Cuando, debidamente autorizadas por la Dirección Facultativa, se introduzcan modificaciones o mejoras de las obras, se hará constar por escrito, antes de comenzar los trabajos, el importe de aquellas o el valor estipulado para las mismas si no tuvieran precio en el Presupuesto, cuyo valor, en uno y otro caso, se abonará en la liquidación correspondiente al plazo en que el trabajo se haya ejecutado. En caso de que la modificación o mejora tengan precio contemplado en el Presupuesto, se aplica el mismo, independiente del momento en que surja la modificación o mejora.

Prórrogas Por Causas De Fuerza Mayor

Si por causas de fuerza mayor, el Contratista no pudiese comenzar las obras o tuviese que suspenderla o no le fuese posible terminarla en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para el cumplimiento de la contrata, previo informe favorable de la Dirección Facultativa. Para ello el Contratista expondrá en escrito dirigido a la Dirección Facultativa, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ella se originará en los plazos acordados, razonando la prórroga que por dicha causa solicita.

Condiciones Generales De Ejecución De Los Trabajos

Todos los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al Proyecto que haya servido de base a la contrata, a las modificaciones del mismo que previamente hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que comunique la Dirección Facultativa al Contratista.

Carácter Contractual De La Documentación

Los documentos, tanto del Proyecto como otros complementarios que la Dirección Facultativa entregue al Contratista, pueden tener valor contractual o meramente informativo.

En caso de estimarse necesario el carácter contractual, así se hará constar en el contrato privado de contratación de la obra.

Trabajos Defectuosos

El Contratista está obligado a emplear materiales que cumplan las condiciones exigidas en este Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo especificado también en dicho Documento.

Por ello, y hasta tanto no se tenga lugar la recepción definitiva de la obra, el Contratista es el único responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en éstos puedan existir, por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados, sin que pueda servirle de excusa, ni le otorgue derecho alguno, la circunstancia de que la Dirección Facultativa o sus subalternos no le hayan llamado la atención sobre el particular, ni tampoco el hecho de que hayan sido valoradas las certificaciones parciales de obra, que siempre se suponen extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando la Dirección Facultativa o sus representantes en la obra, adviertan vicios o defectos en los trabajos ejecutados o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o finalizados éstos, podrá disponer que las partes defectuosas sean demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado y a expensas de la contrata, sin perjuicio de las acciones legales que la Legislación correspondiente establece.

Vicios Ocultos

Si la Dirección Facultativa tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará efectuar en cualquier tiempo, las demoliciones que crea necesarias para reconocer los trabajos que suponga defectuosos, asimismo sin perjuicio de la Legislación vigente.

Materiales Y Aparatos

El Contratista tiene libertad para proveerse de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que le parezcan convenientes, siempre que reúnan las condiciones exigidas por las normas de buena construcción, que estén perfectamente preparados para el objeto a que se apliquen y sean empleados en obra conforme a lo preceptuado en los Documentos de este Proyecto y a las instrucciones de la Dirección Facultativa.

No se procederá al empleo y colocación de los materiales y de los aparatos, sin que antes sean examinados y aceptados por la Dirección Facultativa en los términos que prescribe este Pliego de Condiciones o cualquier otro Documento de este Proyecto, depositando al efecto el Contratista, las muestras y modelos necesarios previamente contrastados, para efectuar con ellos las comprobaciones, ensayos o pruebas preceptuados en el Pliego de Condiciones vigente en la Obra.

Si la procedencia de los materiales fuera fijada en los documentos contractuales, o en las Mediciones o Presupuestos, el Contratista tendrá que utilizarlos obligatoriamente, a menos que haya una autorización expresa de la Dirección Facultativa.

El Contratista notificará a la Dirección Facultativa de la obra con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando las muestras y los datos necesarios, tanto por lo que haga referencia a la calidad como a la cantidad.

En ningún caso podrán ser acopiados y utilizados en la obra, materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por la Dirección Facultativa.

Materiales No Utilizables

El Contratista, a su costa, transportará y colocará, agrupándolos ordenadamente y en el sitio de la obra en el que, por no causar perjuicios a la marcha de los trabajos, se les designe, los materiales procedentes de las excavaciones, derribos, etc., que no sean utilizables en la obra; en su caso, se retirarán de ésta, o se llevarán al vertedero.

Si no hubiese preceptuado nada sobre el particular, se retirarán de ella cuando así lo ordene la Dirección Facultativa.

Medios Auxiliares

Serán de cuenta y riesgo del Contratista, los andamios, cimbras, máquinas y demás medios auxiliares que para la debida marcha y ejecución de los trabajos se necesiten, no cabiendo por tanto, al propietario, responsabilidad alguna por cualquier avería o accidente personal que pueda ocurrir en las obras, por insuficiencia de dichos medios auxiliares.

Todos éstos, siempre que no haya estipulado lo contrario, quedarán a beneficio del Contratista, sin que éste pueda fundar reclamación alguna en la insuficiencia de dichos medios, cuando éstos estén detallados en el presupuesto y consignados por partida alzada, o incluidos en los precios de las unidades de obra.

Seguridad En La Construcción

El Contratista deberá adoptar los medios y cumplir los preceptos que contemplan las Ordenanzas y Reglamentos de Seguridad e Higiene en el Trabajo, nombrando al efecto un vigilante de seguridad designado entre los trabajadores de acuerdo con la Dirección Facultativa, o con el coordinador de Seguridad y Salud, exigiendo el cumplimiento de las disposiciones mínimas de Seguridad y Salud. REAL DECRETO 486/1997.

El Contratista estará asegurado en Compañía solvente para los accidentes que ocurran en la obra y cubrirá la responsabilidad civil/penal por un importe igual al Precio de la Ejecución Material de las obras a la Dirección Facultativa de las mismas; si la Compañía no los abonase, los abonará directamente el Contratista, o en su defecto será del único responsable económico de las posibles sanciones o indemnizaciones económicas a que hubiera lugar.

En cualquier momento le podrá exigir la Dirección Facultativa o la entidad propietaria, que enseñe estos contratos.

Facultades De La Dirección Facultativa

Además de todas las facultades particulares que corresponden a la Dirección Facultativa, expresadas en los artículos precedentes, es misión específica suya la dirección y vigilancia de los trabajos que en la obra se realicen, siempre dentro de sus competencias legales, bien por sí o por medio de sus representantes técnicos, y ello con autoridad técnica legal, completa e

indiscutible, incluso en todo lo no previsto específicamente en el Pliego de Condiciones de la Edificación y en relación con los trabajos para la ejecución de los edificios u obras anejas que se lleven a cabo pudiendo incluso, pero con causa justificada, recusar al Contratista o a cualquiera de sus subalternos, si considera que el adoptar esta resolución, es útil y necesaria para la debida buena marcha de la obra.

Toda obra ejecutada de mala fe por parte del Contratista, sea por su deseo inmoderado de lucro, por contravenir las órdenes de la Dirección Facultativa, o por no dar cuenta a la misma, de soluciones constructivas que puedan atentar contra la estabilidad del edificio, obra u obras colindantes, será motivo de responsabilidad legal por parte del Contratista, así como por la errada maniobra o ejecución de sus empleados y oficios por no ajustarse a las normas de la buena construcción.

Carteles De Obra

Será de cuenta del Contratista, la confección e instalación de los carteles de obra que así disponga previamente la Dirección Facultativa, en cualquier documento de este Proyecto.

3.2 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER ECONÓMICO

El precio aprobado por las partes se considera, desde este momento, como documento de liquidación de obra. Conviene a las partes que, en el precio de cada una de las partidas, se ha tenido en cuenta la calidad y acabado de los trabajos, por lo que no será motivo de disculpa por parte del Contratista y del Propietario, el alegar una interpretación distinta de la de la Dirección Facultativa, por lo que se tendrá en cuenta lo preceptuado al respecto en los artículos específicos del vigente Código Civil.

Como consecuencia del apartado anterior, la Dirección Facultativa de la obra, procurará armonizar los criterios y las interpretaciones de los trabajos tanto en su parte oculta, como externa y decorativa, de tal manera que, exista en todo momento, reflejado un principio de equidad y justicia a que se someten solamente las partes contratantes, sin otra posibilidad de apelar otros recursos de tipo judicial o extrajudicial.

Se abonará al Contratista las obras que realmente ejecute con sujeción al proyecto aprobado y que sirvieron de base a la contrata, a las modificaciones debidamente autorizadas y que se introduzcan y a las órdenes que le hayan sido comunicadas por la Dirección Facultativa.

Los precios que se asignen a cada una de las unidades de obra deben entenderse que corresponden a todos los elementos necesarios para que esta unidad de obra quede completamente terminada, así cualquier detalle que no tuviera asignado en el Presupuesto precio aparte, se entenderá que va incluido su importe en el precio general.

El abono de las obras se realizará sobre certificaciones de obra realizada con el VºBº de la Dirección Facultativa, pero ha de entenderse, que estas certificaciones no implican recepción de las obras a que se refieran, sino que son cantidades a buena cuenta adelantadas hasta la liquidación final y recepción de las obras.

El Contratista ofrece una garantía de doce meses, durante los cuales, realizará la reparación de cualquier deficiencia que surja por vicios de obra o instalación, y a su costa.

El Contratista, viene obligado a que todo el personal que trabaje directa o indirectamente en la obra, estén debida y legalmente asegurados contra el riesgo de accidentes del trabajo y demás seguros sociales, y se hace responsable de cualquier falta que tuviera lugar en este sentido.

Queda el Contratista obligado a asegurar las obras en Compañía de reconocida solvencia, inscrita en el Registro del Ministerio de Hacienda en virtud de la vigente Ley de Seguros.

En caso de no asegurar las obras, se entiende que es el propio Contratista el asegurador de las mismas.

El Contratista deberá establecer una póliza de seguros con una compañía legalmente establecida en España que cubrirá los riesgos de:

Sobre maquinaria y equipos adscritos a las obras y sobre los que hayan sido abonadas cantidades a cuenta.

3.3 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER LEGAL

Deberá tenerse en cuenta que si el Contratista, no siguiendo las instrucciones de la Dirección Facultativa, o sin expreso consentimiento en la utilización de los materiales diferentes a los prescritos en el presente Pliego, se produjera la ruina o deterioro del edificio u obra por mala calidad de los materiales, o mala disposición de los elementos estructurales a efectos del art. 1.591 del Código Civil, se hace exclusivamente responsable el mencionado Constructor.

Asimismo, es responsable de la ejecución de las obras a que se ha comprometido por su libre voluntad, no teniendo derecho a indemnización por el mayor precio a que pudiera costarle las distintas unidades, y por errada maniobra que cometiese durante su ejecución.

Es responsable también el Adjudicatario, ante los Tribunales, de los accidentes que, por inexperiencia, descuido o deseo inmoderado de lucro, sobreviniesen, así como en la construcción, como en los andamios, apeos, cimbras, etc., o accidentes que ocurran por incumplimiento de las órdenes recibidas por la Dirección Facultativa de las obras.

Responderá, igualmente, de cuantos incumplimientos de las disposiciones vigentes, Reglamentos y Ordenanzas Municipales y demás cuerpos legales que regulan la construcción, los materiales, la mano de obra y los medios auxiliares de todo orden, que estén en vigor. El Contratista, tendrá en todo momento a disposición de la Dirección Facultativa, el Libro de Ordenes, a fin de que ésta pueda estampar cuantas anotaciones considere necesarias transmitirle, debajo de las cuales formará el enterado, debiendo cumplir puntualmente cuantas órdenes le dé la Dirección Facultativa, siempre con el VºBº de la Dirección Facultativa.

3.4 CONDICIONES PARTICULARES DE CARÁCTER TÉCNICO

De acuerdo con el artículo 1º A). Uno del Decreto 462/1971, de 11 de marzo, en la ejecución de las obras deberán observarse las normas vigentes aplicables sobre construcción. A tal fin se incluye la siguiente relación no exhaustiva de la normativa técnica aplicable.

NORMATIVA TÉCNICA APLICABLE

- Instrucción para el proyecto de ejecución de obras de hormigón en masa ó armado (EHE-98)

- Reglamento e Instrucciones Técnicas de las instalaciones de Calefacción, Climatización y agua caliente sanitaria.
- Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales. Real Decreto 2667/2004.
- Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- REAL DECRETO 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión y sus instrucciones técnicas complementarias (ITC BT 01 a BT 51.).
- CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.

4 TRABAJOS EN LA EJECUCION DE LAS OBRAS

4.1 MOVIMIENTO DE TIERRAS

Comprende todas las operaciones relacionadas con los movimientos de tierras o rocas necesarias para la ejecución de la obra.

Estas operaciones son:

- Limpieza del terreno.
- Explanaciones, desmontes y vaciados.
- Rellenos y terraplenes.
- Excavación de zanjas y pozos.
- Transporte de tierras a vertedero.
- Replanteo definitivo.

Se considerará incluido en el precio del movimiento de tierras cualquier resto de edificación a derribar que aparezca.

Limpieza Del Terreno

Estos trabajos consisten en extraer y retirar de las zonas designadas todos los árboles, plantas, maleza, broza, escombros, basuras o cualquier otro material no deseable.

Su ejecución incluye las operaciones siguientes:

- Excavación de los materiales objeto del desbroce.
- Retirada de los materiales objeto del desbroce.

Todo ello será realizado de acuerdo con las presentes especificaciones y con los datos que sobre el particular incluyan los correspondientes documentos del proyecto.

Ejecución de las obras

Las operaciones de excavación se efectuarán con las precauciones necesarias para conseguir unas condiciones de seguridad suficientes para evitar daños a las estructuras existentes, de acuerdo con lo que sobre el particular ordene el encargado facultativo de la obra, que designará y marcará los elementos que hayan de conservarse intactos.

Para disminuir lo más posible el deterioro de los árboles que deban conservarse se procurará que los que se han de derribar caigan hacia el centro de la zona objeto de la limpieza.

Cuando sea necesario evitar daños a otros árboles, al tráfico por carretera o ferrocarril o a estructuras próximas, los árboles irán troceándose por su ramaje y tronco progresivamente.

Si para proteger estos árboles u otra vegetación destinada a permanecer en un lugar se precisase levantar barreras o utilizar cualquier otro medio, los trabajos correspondientes se ajustarán a lo que sobre el particular ordene el encargado facultativo de la obra.

Los árboles que ofrezcan posibilidades comerciales serán podados y limpiados; después se cortarán en trozos adecuados y, finalmente, se almacenarán adecuadamente a lo largo del trazado, separados de los montones que sean para quemar o tirar. La longitud de los trozos de madera será superior a tres metros, si lo permite el tronco.

Los trabajos se realizarán de manera que produzcan la menor molestia posible a los ocupantes de las zonas próximas a las obras.

Ningún hito de propiedad o punto de referencia de datos topográficos de cualquier clase será destruido o desplazado sin que un agente autorizado haya referenciado adecuadamente su situación o haya aprobado el desplazamiento.

Retirada de materiales objeto de aclaramiento y desbroce

Todos los subproductos forestales, excepto la leña de valor comercial, serán quemados de acuerdo con lo que sobre el particular ordene el encargado facultativo de la obra.

El concepto de metro cuadrado (m²) de desbroce, limpieza y preparación del terreno incluirá también las posibles excavaciones y rellenos motivados por la existencia de suelos inadecuados que, a juicio del director de la obra, sea necesario eliminar para poder efectuar los trabajos de cimentación.

Se considera que antes de presentar la oferta económica el contratista deberá visitar y estudiar suficientemente los terrenos sobre los cuales se ha de construir, y que deberá incluir en el precio de la oferta todos los trabajos de preparación, que se abonarán al precio definido en el Presupuesto y que en ningún caso podrán ser objeto de incremento del precio del contrato. Se considera que los datos contenidos en la Memoria tienen únicamente valor informativo y que su exactitud no puede ser objeto de reclamación.

Medición y pago

La medición y pago se realizarán por metros cuadrados (m²) realmente desbrozados y preparados.

El precio incluye la carga y transporte de los materiales al vertedero y todas las operaciones citadas en el apartado precedente y definidas en el Presupuesto.

Simultáneamente a las operaciones de desbroce se podrá excavar la capa de tierra vegetal.

Las tierras vegetales se transportarán al vertedero o se llevarán a las zonas que indique la Dirección de la Obra a fin de ser empleadas para la formación de zonas verdes.

El transporte al vertedero o al lugar intermedio citado se considerará incluido en los precios del contrato.

Explanaciones, Desmontes Y Vaciados

Explanación es el conjunto de operaciones de desmonte o relleno necesarias para nivelar las zonas donde habrán de asentarse las construcciones, incluyendo las plataformas, taludes y cunetas provisionales o definitivas, además del transporte de los materiales removidos a los vertederos o al sitio de utilización.

Desmonte es la operación que consiste en rebajar el terreno hasta llegar a los niveles previstos en los planos de obra.

Vaciado es la excavación delimitada por las medidas definidas en los planos de la construcción para el aprovechamiento de las partes bajas del edificio, tales como sótanos, garaje, depósitos u otras utilidades.

Si durante las excavaciones apareciesen manantiales o filtraciones motivadas por cualquier causa, se ejecutarán los trabajos que ordene la Dirección de la obra, que se considerarán incluidos en los precios de la excavación.

En los precios de excavación está incluido el transporte a cualquier distancia. Si, a juicio del Director de la obra, los materiales no son aptos para la formación de terraplenes, se transportarán al vertedero, no siendo motivo de sobrepeso el incremento en la distancia a vertedero. El Director de la obra podrá autorizar el vertido de materiales en determinadas zonas bajas de las parcelas, asumiendo el contratista la obligación de ejecutar los trabajos de tendido y compactación, sin reclamar compensación económica de ninguna clase.

Carlos Martínez Angulo

Este relleno de parcelas en ningún caso podrá superar las cotas de las aceras más próximas.

La unidad de excavación incluirá la ampliación, mejora o rectificación de los taludes de las zonas de desmonte, así como su refino y la ejecución de cunetas provisionales o definitivas.

Cuando las excavaciones lleguen a la rasante definida, los trabajos que se ejecuten para dejar la explanada refinada, compacta y totalmente preparada para iniciar las obras estarán incluidos en el precio unitario de excavación. Si la explanada no cumple las condiciones de capacidad portante necesarias, el Director de la obra podrá ordenar una excavación adicional, que será medida y abonada mediante el mismo precio definido para todas las excavaciones.

Las excavaciones se consideran no clasificadas y se definen con un precio único para cualquier tipo de terreno. La excavación especial de taludes en roca se abonará al precio único definido para la excavación.

Medición y pago

Se medirá y abonará por metros cúbicos (m^3) realmente excavados, medidos por la diferencia entre los perfiles antes y después de los trabajos.

No son abonables desprendimientos ni aumentos de volúmenes sobre las secciones que previamente se hayan fijado en este proyecto.

A efectos de las mediciones de movimientos de tierra, se entiende por metro cúbico (m^3) de excavación el volumen correspondiente a esta unidad referido al terreno tal y como se encuentre donde se haya de excavar.

Se entiende por volumen de terraplén o relleno el que corresponde a estas obras después de ejecutadas y consolidadas, según lo que se prevea en estas condiciones.

En todos los casos, los huecos que queden entre excavaciones y fábricas, debidos a desprendimientos o por cualquier otro motivo, se deberán llenar con el mismo tipo de material, sin que el contratista reciba por ello ninguna cantidad adicional.

Asimismo, la realización del vaciado se llevará a término sin ningún incremento de costo.

En caso de duda sobre la determinación del precio de una excavación concreta, el contratista se atenderá a lo que decida el Director Facultativo, sin ajustarse a lo que, a efectos de valoración del presupuesto, figure en los presupuestos parciales del proyecto.

Se entiende que los precios de las excavaciones comprenden, además de las operaciones y gastos indicados, todos los auxiliares y complementarios, como son: instalaciones, suministro y consumo de energía para alumbrado y fuerza, suministro de agua, ventilación, utilización de toda clase de maquinaria con todos sus gastos y amortización, etc., así como los entorpecimientos producidos por las filtraciones o cualquier motivo.

Si el contratista, ejecuta menor volumen de excavación que el que resultare de las prescripciones fijadas, solamente se considerará de abono el volumen realmente ejecutado.

En caso de hallarse cimientos enterrados u otras construcciones, se considerará que se incluyan en el concepto amplio de excavación en todo tipo de terreno, objeto del precio definitivo.

Vaciados

Una vez realizadas todas las operaciones de movimiento de tierras, se realizará el vaciado, a fin de conseguir el acabado geométrico de toda la explanación, desmonte, vaciado o relleno.

Se comprobarán y rectificarán las alineaciones y rasantes, así como la anchura de las explanaciones, el refino de taludes de los desmontes y terraplenes, la limpieza y refino de cunetas y explanaciones en la coronación de desmontes y en el comienzo de taludes. Las operaciones de vaciado se considerarán incluidas en los precios de movimiento de tierras, por indicarse expresamente en el presente Pliego.

Rellenos y terraplenes

Rellenos y terraplenes son las masas de tierra o de otros materiales con los que se llenan y compactan los huecos, se hacen taludes, se nivelan terrenos o se llevan a término obras similares.

Las diferentes capas o zonas que los componen son:

- Cimiento: zona que está por debajo de la superficie del terreno.
- Núcleo: zona que comprende desde el cimiento hasta la coronación.
- Coronación: capa superior con un grueso de cincuenta centímetros (50 cm).

El equipo necesario para efectuar su compactación se determinará por el encargado facultativo, en función de las características del material a compactar y del tipo de obra.

El contratista podrá utilizar un equipo diferente; para ello necesitará la autorización del Director Facultativo, que solamente la concederá cuando con el equipo puesto por el contratista obtenga la compactación requerida y al menos del mismo grado que con el equipo propuesto por el encargado facultativo.

La base del relleno se preparará de forma adecuada para suprimir las superficies de discontinuidad evitables.

A continuación se extenderá el material a base de tongadas de grosor uniforme y suficientemente reducido para que, con los medios disponibles, se obtenga en todo su grosor el grado de compactación exigida. Los materiales de cada tongada serán de características uniformes y, en otro caso, se conseguirá esta uniformidad mezclándose convenientemente con los medios adecuados.

No se extenderá ninguna tongada mientras no se haya comprobado que la superficie subyacente cumple las condiciones exigidas y, por tanto, sea autorizado su tendido por el encargado facultativo.

Cuando la tongada subyacente se haya reblandecido por una humedad excesiva no se extenderá la siguiente.

Medición y pago

Se medirán y abonarán por metros cúbicos (m³) realmente ejecutados y compactados en su perfil definitivo, medidos por la diferencia entre los perfiles antes y después de los trabajos.

Cuando el material a utilizar provenga de las excavaciones, el precio del relleno incluirá la carga, compactación y transporte.

En caso de que el material provenga de préstamos, el precio correspondiente incluye la excavación, carga, transporte, tendido, compactación, nivelación y canon de préstamos correspondiente.

El Director de la obra podrá autorizar la excavación en determinadas parcelas, a fin de obtener materiales de préstamo. La citada excavación de préstamos en parcelas en ningún caso podrá rebajar el terreno de las mismas por debajo de las cotas de las aceras más próximas.

Cuando sea necesario obtener los materiales para formar los terraplenes de préstamos exteriores al polígono, el precio del terraplén incluirá el canon de extracción, carga, transporte

a cualquier distancia y el resto de las operaciones necesarias para dejar totalmente acabada la unidad de terraplén. El contratista habrá de localizar las zonas de préstamos, obtener los permisos y licencias que sean necesarios y, antes de comenzar las excavaciones, habrá de someter a la aprobación del Director de obra las zonas de préstamos, a fin de determinar si la calidad de los suelos es suficiente. La necesidad de usar suelos seleccionados será a criterio del Director de obra, y no podrá ser objeto de sobreprecio, abonándose al precio de relleno definido en el Presupuesto.

Excavación De Zanjas Y Pozos

La unidad de excavación de zanjas y pozos comprende todas las operaciones necesarias para abrir las zanjas definidas para la ejecución del alcantarillado, del abastecimiento de agua y el resto de las redes de servicios definidas en el presente proyecto, así como las zanjas y pozos necesarios para cimientos y desagües.

Las excavaciones se ejecutarán de acuerdo con los planos del proyecto y con los datos obtenidos del replanteo general de las obras, de los planos de detalle y las órdenes de la Dirección de obra.

Las excavaciones se considerarán no clasificadas y se definirán en un solo precio para cualquier tipo de terreno. La excavación especial de taludes en roca y la excavación de roca se abonarán al precio único definido de excavación.

El precio de las excavaciones comprende también los apeos y excavaciones por batches que sean necesarios y el transporte de las tierras al vertedero a cualquier distancia. La Dirección de obra podrá autorizar, si es posible, la ejecución de sobreexcavaciones, a fin de evitar las operaciones de apuntalamiento; pero los volúmenes sobreexcavados no serán objeto de pago. La excavación de zanjas se abonará por metros cúbicos excavados, de acuerdo con la medición teórica de los planos del proyecto.

El precio correspondiente incluye el suministro, transporte, manipulación y uso de todos los materiales, maquinaria y mano de obra necesaria para su ejecución, la limpieza y desbrozado de toda la vegetación, la construcción de obras de desagües para evitar la entrada de aguas, la construcción de los apuntalamientos y apeos que se precisen, el transporte de los productos extraídos al lugar de uso, depósito o vertedero, las indemnizaciones que se precisen y el arreglo de las áreas afectadas.

Cuando durante los trabajos de excavación aparezcan servicios existentes, independientemente de haberse contemplado o no en el Proyecto, los trabajos se ejecutarán manualmente para no alterar estas instalaciones, completándose la excavación con el apeo y suspensión en buenas condiciones de las tuberías de agua, gas, alcantarillado, instalaciones eléctricas, telefónicas, etc., o cualquier otro servicio que sea preciso descubrir, sin que el contratista tenga ningún derecho a pago por estos conceptos.

Si por cualquier motivo fuera necesario ejecutar excavaciones de diferente altura o anchura que las definidas en el Proyecto, ello no será causa de nueva definición del precio.

Transporte De Tierras A Vertedero

El contratista cargará y transportará hasta el vertedero todas las tierras y materiales que la dirección facultativa declare inutilizables.

Se entiende que en todas las partidas enunciadas permanece incluida la parte proporcional de carga y transporte al vertedero de los materiales inutilizables.

Replanteo Definitivo

El replanteo definitivo es el conjunto de operaciones que son precisas para trasladar al terreno los datos expresados en la documentación técnica de la obra que se ha de realizar.

El replanteo definitivo se hará en una o más veces, según las circunstancias que concurriesen en la nivelación del terreno.

El contratista está obligado a suministrar todos los utensilios y elementos auxiliares necesarios para estas operaciones, con inclusión de clavos y estacas. También aportará el personal necesario.

El contratista vigilará, conservará y responderá de las estacas y las señales, responsabilizándose de cualquier desaparición o modificación de estos elementos.

4.2. CIMENTACIONES Y SOLERAS

Generalidades

Los cimientos son los elementos estructurales que transmiten las cargas de la edificación al terreno de sustentación.

Reconocimiento General Del Suelo

Con anterioridad a la ejecución de las obras y mediante los trabajos adecuados se reunirá toda la información posible proveniente de la observación de las zonas vecinas, del estado de las edificaciones adyacentes, corrientes de agua, etc., y tomando datos en general de toda clase de circunstancias que puedan posteriormente facilitar y orientar los trabajos que habrán de realizarse en el momento del reconocimiento del terreno.

Resistencia De Los Terrenos

La Dirección Facultativa, según su criterio técnico y después de los reconocimientos y ensayos geotécnicos del terreno, escogerá en cada caso la presión admisible que crea adecuada, fijando también el asentamiento máximo tolerable.

Tipos De Cimientos

La dirección facultativa comprobará que la cimentación se realice en la forma, medida, dosificación y manera particular de ejecución que indiquen los planos y el Pliego de Condiciones Particulares; con las longitudes, forma, separaciones, diámetros, número de barras y secciones que figuren en los planos. Los recubrimientos, anclajes y montajes se ajustarán a las normas vigentes.

Los pozos y zanjas tendrán la forma, medidas y cotas fijadas en los planos de obra. Antes de hormigonar, el contratista comprobará que las capas de asentamiento de la cimentación estén perfectamente niveladas y limpias, procediendo a continuación a la ejecución de la cimentación.

Aceros

El acero a emplear cumplirá las condiciones exigidas en la Instrucción para el Proyecto y Ejecución de las obras de Hormigón EHE.

Calidad

El alargamiento medio de rotura será superior a dieciocho (18) grados, entendiéndose por tal deformación unitaria la remanente medida después del ensayo normal de tracción UNE 7101, sobre una base de cinco (5) diámetros de cuello de estricción y de más de tres (3) diámetros del punto de aplicación de la mordaza.

El módulo de elasticidad inicial será igual o superior a un millón ochocientos mil kilogramos por centímetro cuadrado ($1.800.000 \text{ kg/cm}^2$). El límite elástico será el indicado en los planos y, si no hay especificaciones, será de cinco mil cien kilogramos por centímetro cuadrado (5.100 kg/cm^2).

En los aceros con escalón de relajamiento, se pondrá como límite elástico la mínima tensión capaz de producir una deformación remanente del dos por mil (0,2%).

La tensión máxima de rotura será igual o superior al ciento veinticinco por ciento (125%) de su correspondiente límite elástico, entendiéndose por tensión máxima de rotura el valor de la ordenada máxima del diagrama tensión-deformación.

El valor del límite elástico característico se determinará tomando el promedio aritmético de los "n/2" valores más bajos obtenidos del ensayo de "n" probetas, prescindiéndose del valor medio de la serie, si "n" fuese impar.

Se ajustará al artículo 600 del Pliego General de marzo de 1975.

Ensayos

Si el director facultativo de la obra lo considera conveniente, se exigirá un certificado de un Laboratorio Oficial que garantice la calidad del acero utilizado.

Asimismo, dará instrucciones sobre la ejecución en la obra del ensayo de doblado descrito en la Instrucción para el Proyecto y la Ejecución de obras de Hormigón EHE.

Medición y pago

Se abonará por los kilogramos (kg) que resulten de la especificación de los planos, que antes de comenzar la obra deberán ser presentados al director facultativo y aprobados por él, al precio correspondiente que figure en el Presupuesto.

En dichos precios están comprendidos todas las operaciones y medios necesarios para realizar el doblado y puesta en obra, así como los solapes, ganchos, elementos de sustentación, pérdidas por sobrantes, atados, soldaduras, etc.

Mallas Electrosoldadas De Acero Especial

Son mallas de retícula cuadrada o rectangular, formadas por barras cilíndricas o corrugadas de acero laminado de dureza natural o endurecidas por templado, unidas en los puntos de cruce por soldadura eléctrica.

Medición y pago

Se abonará por los kilogramos (kg.) que resulten de la especificación de los planos, que antes de comenzar la obra deberán ser presentados al director facultativo y aprobados por él, al precio correspondiente que figure en el Presupuesto.

En dichos precios están comprendidos todas las operaciones y medios necesarios para realizar el doblado y puesta en obra, así como los solapes, ganchos, elementos de sustentación, pérdidas por sobrantes, atados, soldaduras, etc.

Soleras

La solera es una capa de espesor variable, formada por la compactación de gravas y cubierta por hormigón armado.

Medición y pago

Se pagarán por metros cuadrados (m²). Se considerarán incluidos en el metro cuadrado (m²) los ajustes necesarios para el suministro del material, la colocación, tendido y compactación y la maquinaria necesaria.

Aislamiento de humedad por capilaridad

Se realizará a base de bandas de láminas asfálticas, tipo Glasdan-40 de Danosa o similar, colocadas en muros de arranque desde cimentación o terreno.

4.3 ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN

Características y especificaciones del hormigón. (Según Instrucción EHE)

CARACTERÍSTICAS	MACIZOS (soleras)
TIPIFICACIÓN DEL HORMIGÓN	HA-25/P/20/IIa
Fabricación del hormigón	En central, sello calidad
Tipo de cemento	CEM I 32,5
Aridos:	
Clase	Rodado
Tamaño máximo (mm)	20
Dosificación del m ³	
Cemento (Kg.)	
Grava (Kg.)	
Arena (Kg.)	
Agua (litros)	
Docilidad:	
Consistencia plástica	
Compactación vibrado	
Asiento en cono de Abrams (cms) 3 a 5	
Resistencia característica:	
A los 28 días (N/mm ²)	25
Armaduras:	
Designación	B 500 T
Clase de acero	Soldable
Límite elástico (N/mm ²)	500
Carga unitaria de rotura (N/mm ²)	550
Ensayos previos del hormigón:	
Preceptivo	No (hormigón de central)
Ensayos característicos del hormigón:	
Preceptivo	No (hormigón de central)
Ensayos de control del hormigón:	
Preceptivo	Si
Modalidad	3 (control estadístico)
Frecuencia de ensayos (lotes):	

Volumen de hormigón	100 m3
Número de amasadas	50
Tiempo de hormigonado	1 semana
Superficie construida	---
Número de plantas	---
Clase de probeta	cilíndrica 15x30
Edad de rotura	28 días
Nº mínimo de amasadas por lote	2
Nº mínimo de probetas por amasada	2
Ensayos de control del acero:	
Frecuencia de ensayos (lotes):	40 toneladas
Nº mínimo de probetas por lote	2
Control de ejecución: Normal	
Frecuencia de la inspección (lotes)	500 m2
Nº mínimo de inspecciones por lote	2

Cementos

Todo cemento se atenderá a lo especificado en la norma EHE y cumplirá las prescripciones del vigente Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para la Recepción de Cementos. Independientemente de lo anterior, será capaz de proporcionar al hormigón las condiciones exigidas en los apartados correspondientes del presente Pliego.

Agua

El agua utilizada, tanto para el amasado como para el curado del hormigón en obra, no debe contener ningún ingrediente dañino en cantidades tales que afecten a las propiedades del hormigón o a la protección de las armaduras frente a la corrosión. En general, podrán emplearse todas las aguas sancionadas como aceptables por la práctica.

Cuando no se posean antecedentes de su utilización o en caso de duda, deberán analizarse las aguas, y salvo justificación especial de que no alteran perjudicialmente las propiedades exigibles al hormigón, deberán cumplir las condiciones expresadas en el artículo 27º de la norma EHE.

Características Generales De Los Áridos

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, piedra rodada obtenida “in situ”, rocas machacadas, o previa aprobación de otros materiales inertes de características similares. Estarán exentos de silicatos inestables, compuestos ferrosos, sulfuros oxidables y de sustancias que pudieran causar expansión en el hormigón a causa de su reacción con los álcalis del cemento. Todo árido se atenderá a lo especificado en la Norma EHE.

El tamaño máximo del árido grueso será menor que:

- 0,8 de la distancia horizontal libre entre vainas o armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- 1,25 de la distancia entre un borde de la pieza y una vaina o armadura que forme un ángulo no mayor que 45° con la dirección de hormigonado.
- 0,25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:
 - Losa superior de los forjados, $T_{\text{máx}} < 0,4$ veces el espesor mínimo.
 - Piezas de ejecución muy cuidada, $T_{\text{máx}} < 0,33$ veces el espesor mínimo.

Encofrados

Las cimbras, encofrados y moldes, así como las uniones de los diferentes elementos, tendrán una resistencia y rigidez suficiente para resistir, sin asentamientos ni deformaciones perjudiciales, las acciones de cualquier clase que puedan producirse como consecuencia del proceso de hormigonado y, especialmente, bajo las presiones del hormigón en fresco o los efectos del método de compactación utilizado.

Los encofrados y moldes serán suficientemente estancos para impedir pérdidas apreciables de lechada.

Los encofrados y moldes de madera se humedecerán para evitar que absorban el agua contenida en el hormigón.

Las superficies interiores de los encofrados y moldes estarán limpias en el momento del hormigonado. Para facilitar esta limpieza en los fondos de pilares y muros, se dispondrán aberturas provisionales en la parte inferior de los encofrados correspondientes.

Si fuese necesario, y a fin de evitar la formación de fisuras en los paramentos de las piezas, se adoptarán las medidas oportunas para que los encofrados y moldes no impidan la libre retracción del hormigón.

Si se utilizasen productos de desencofrado, no deberán dejar señales en los paramentos de hormigón y no deberán impedir la posterior aplicación del revestimiento ni la posible construcción de juntas de hormigonado.

El uso de estos productos deberá ser expresamente autorizado por el director de obra.

Hormigón

Todos los hormigones cumplirán la EHE, considerado como definición de resistencia la de esta Instrucción.

El hormigón empleado principalmente será de central, cuando se fabrique “in situ” se realizará siempre en hormigonera, siendo el período de amasado superior a un minuto (1') e inferior al minuto y medio (1' 30") y de tal manera que la consistencia del hormigón en cada mezcla sea uniforme.

Además de las prescripciones de la EHE se tendrán en cuenta las siguientes:

- La instalación de transporte y puesta en obra será de tal forma que el hormigón no pierda resistencia ni homogeneidad.
- No se podrá verter libremente el hormigón desde una altura superior a un metro y cincuenta centímetros (1.50 m) ni distribuirlo con pala a gran distancia.
- Queda prohibido el uso de mediacaña o trompas para el transporte o la puesta en obra del hormigón sin la autorización del encargado facultativo. No se podrá hormigonar cuando el agua pueda perjudicar la resistencia o cualquiera de las características del hormigón. Para el hormigonado en tiempos de frío o de calor se seguirán las prescripciones de la EHE.

- No se colocará nunca el hormigón sobre un terreno que se encuentre helado. El vibrador se introducirá verticalmente a la masa de hormigón fresco y se retirará también verticalmente, sin que se mueva horizontalmente mientras esté sumergido el hormigón.
- Se procurará cuidar el vibrado en las proximidades de los encofrados, a fin de evitar la formación de bolsas de piedras.
- En general, el vibrado del hormigón se ejecutará de acuerdo con las normas especificadas en la EHE.
- La situación de las juntas de construcción será fijada por el director facultativo, de manera que cumplan las prescripciones de la EHE y procurando que su número sea el menor posible.
- Siempre que se interrumpa el trabajo, cualquiera que sea el motivo de la interrupción se cubrirá la junta con sacos húmedos, para protegerlo de los agentes atmosféricos.

Antes de comenzar los trabajos, se tomarán las disposiciones necesarias para conseguir la buena unión del hormigón fresco con el que está endurecido.

Durante los tres (3) primeros días se protegerá el hormigón de los rayos solares con una arpillera húmeda. Como mínimo, durante los siete (7) primeros días se mantendrán las superficies vistas continuamente húmedas, mediante riego o inundación, o cubriéndolos con arena o arpillera, las cuales se mantendrán, para tal fin, constantemente húmedas.

La temperatura del agua utilizada en el riego será inferior en más de veinte grados centígrados (20°C) a la del hormigón, con el fin de evitar que se produzcan grietas por enfriamiento brusco.

También se podrán utilizar procedimientos de curado especial a base de películas superficiales impermeables, previa autorización por escrito del director facultativo.

Los paramentos han de estar lisos, con formas perfectas y buen aspecto, sin defectos y rugosidades y sin que se les deba aplicar enlucidos, que no podrán ser en ningún caso ser ejecutados sin la autorización previa del director facultativo.

Las operaciones precisas para dejar las superficies en buenas condiciones de aspecto serán a cuenta del contratista.

La irregularidad máxima que se admite a los paramentos será la siguiente:

- Paramento visto: seis milímetros (6 mm).
- Paramento oculto: veinticinco milímetros (25 mm).

Las probetas se amasarán de forma similar a la del hormigón en obra y se conservarán en condiciones análogas. Si pasados los veintiocho (28) días la resistencia de las muestras es menor a la especificada para esta fecha en más de un veinte por ciento (20%) se extraerán probetas de la obra y si, a pesar de todo, la resistencia continúa siendo menor que la especificada, la obra será derribada.

Si la resistencia de las probetas extraídas es mayor que la de las probetas de ensayo, podrá aceptarse la obra en caso de poder efectuar sin peligro un ensayo de carga con una sobrecarga superior a un cincuenta por ciento (50%) de la de cálculo, durante el cual se medirá la flecha producida, que tendrá que ser admisible.

Si no fuese posible extraer probetas de la obra y los ensayos no diesen el ochenta por ciento (80%) de la resistencia especificadas, la obra tendrá que derribarse. En caso de que la resistencia de las probetas de ensayo y las extraídas de la obra se hallasen comprendidas entre el ochenta y el cien por ciento (80% y 100%) de la especificada, el director facultativo podrá recibir, con reservas, la obra, con el previo ensayo de carga correspondiente.

Los moldes y encofrados serán de madera, cumpliendo todas las condiciones exigidas en el apartado correspondiente, metálicos o de otro material que reúna similares condiciones de eficacia, a juicio del director facultativo.

Las uniones y las piezas que constituyen los encofrados, cimbras y apeos deberán tener la resistencia y la rigidez necesarias para que con el vertido del hormigón no se produzcan movimientos locales de más de cinco milímetros (5 mm).

Las superficies de los encofrados y los productos que se apliquen para facilitar el encofrado no deberán contener sustancias agresivas para el hormigón.

Los encofrados de madera se humedecerán antes del hormigonado y se limpiarán, especialmente los fondos, dejándose abiertos provisionalmente para facilitar esta labor.

Las juntas entre los diferentes tableros habrán de permitir el entumecimiento por la humedad del riego o del agua del hormigón sin que dejen escapar la pasta durante el hormigonado.

Se dispondrá el encofrado en las vigas y forjados con la necesaria contra flecha de un trescientos (1/300) de la luz. Se autorizará el uso de tipos y técnicas especiales de encofrado, si su comportamiento y resultados están sancionados por la práctica, debiendo justificarse el comportamiento de los otros que se propongan y que por su novedad carezcan de tales garantías. Se incluyen las juntas que hayan de hormigonarse por cualquier motivo.

El precio del hormigón incluirá los posibles aditivos que la dirección de obras estime necesarios y también la posible necesidad de usar cementos especiales, según criterio de la dirección (cemento PAS, blanco, etc.).

El precio de los enfoscados será independiente del precio del hormigón. La medición se realizará por metros cuadrados (m^2) realmente colocados.

Los citados precios incluyen los materiales de los encofrados, la maquinaria y la mano de obra necesarias para su colocación y el resto de operaciones y materiales necesarios. Se entiende que quedarán incluidos en el precio del metro cuadrado (m^2) todo tipo de accesorios del encofrado, como las juntas entre muros u otros elementos que, a juicio de la dirección de obras, sean necesarios para obtener un correcto acabado.

El hormigón armado se abonará el precio que corresponda el tipo de hormigón empleado, que incluirá todas las operaciones necesarias para ejecutar la unidad de obra, menos el encofrado y las armaduras, así como su colocación, que se abonará al precio de kilogramo (kg) de acero colocado.

Los andamios, cimbras, ejecución de juntas, operaciones de curado y otras operaciones que a juicio de la dirección de obras sean necesarias para la ejecución del hormigonado, se considerarán incluidas en el precio del hormigonado.

Medición y pago

Los hormigones se medirán de acuerdo con los planos del Proyecto y con los planos detallados resultantes del replanteo de las obras, y se abonarán por metros cúbicos (m^3).

Advertencia sobre el pago de las obras de fábrica:

Únicamente se abonará el volumen de obra de fábrica realmente ejecutado, conforme a las condiciones y con sujeción a los perfiles de replanteo y planos de los mismos que figuren en el Proyecto o a las órdenes escritas del director facultativo. Por tanto, en ningún caso serán abonables los excesos de obra de fábrica que el contratista haya ejecutado por su cuenta, sin tener autorización del director facultativo.

Para el abono de los incrementos de sección sobre la sección teórica mínima indicada en los planos de secciones tipos será necesario que, previamente, haya sido ordenada su ejecución por el director facultativo, por escrito, y donde consten de manera explícita las dimensiones que han de darse a la sección.

Por ello, el contratista estará obligado a exigir previamente a la ejecución de cada parte de la obra la definición exacta de las dimensiones que no estuvieran definidas.

Armaduras

Las armaduras se colocarán limpias, sin óxido o cualquier sustancia perjudicial.

Se dispondrán de acuerdo con las indicaciones del proyecto, sujetas entre ellas y al encofrado de manera que no puedan experimentar movimientos durante el vertido y la compactación del hormigón, a fin de evitar grietas.

En las vigas y elementos similares, las barras, al doblarse, habrán de ir atadas con cercos o estribos, en la zona del codo.

Cuando haya peligro de confusión de unas barras con otras, se prohíbe la utilización simultánea de aceros de características mecánicas diferentes. Se podrán utilizar, dentro un mismo elemento, dos tipos diferentes de aceros, uno para la armadura principal y otro para los estribos.

Los cercos o estribos se sujetarán a las barras principales mediante un atado o algún otro procedimiento adecuado, prohibiéndose expresamente la fijación mediante puntos de soldadura.

Se deberá cumplir la instrucción EHE en todo lo que hace referencia a las armaduras (resistencia, límite elástico, etc.).

Juntas De Dilatación

Se definen como juntas de dilatación los dispositivos que enlazan los bordes de los elementos estructurales o de fábrica, realizados de manera que permitan los movimientos por cambios de temperatura, asentamientos diferenciales y deformaciones reológicas.

El tipo de materiales empleados será el que indique la dirección de obra o el que se define en el Proyecto. En cualquier caso, tendrá que cumplirse la normativa más estricta del apartado, entendiéndose incluido en el precio del metro lineal (ml) tanto los materiales como las operaciones que sea preciso ejecutar para conseguirlo.

La junta se montará siguiendo las instrucciones del fabricante.

Medición y pago

Las juntas se medirán por metros lineales (ml) colocados, estando incluidos en el precio todos los materiales y trabajos necesarios para su colocación.

4.4 ALBAÑILERÍA

Características Generales De Los Morteros

Para la confección de los morteros se tendrá en cuenta lo siguiente:

- Los áridos estarán exentos de materias orgánicas o sustancias que produzcan reacción en el cemento.
- Se evitará el empleo de arenas monogranulares.
- Se emplearán siempre arenas lavadas.
- No será puesto en obra ningún mortero que lleve amasado más de una hora.
- No se utilizarán anticongelantes ni aceleradores de fraguado, sin que lo autorice la Dirección Facultativa.

CLASES:

De yeso.

- Dosificación: tres (3) volúmenes de yeso por un (1) volumen de arena.
- Resistencia media: cinco kilogramos por centímetro cuadrado (5 kg/cm²).
- Campo de aplicación: mediana.

De cemento.

- Dosificación:
 - M-20: un (1) volumen de cemento portland por ocho (8) volúmenes de arena. (20 kg/cm²).
 - M-40: un (1) volumen de cemento portland por seis (6) volúmenes de arena. (40 kg/cm²).
 - M-80: un (1) volumen de cemento portland por cuatro (4) volúmenes de arena. (80 kg/cm²).
 - M-160: un(1) volumen de cemento portland por tres (3) volúmenes de arena. (160 kg/cm²).

DOSIFICACIONES

Dosificación	½	1/4	1/6
Cemento (Kg.)	600	350	250
Arena mediana (Kg.)	1.408	1.648	1.760
Agua (litros)	265	255	250
Uso en	Rejuntados	recibidos	fábricas y revestimientos

La mezcla del mortero podrá realizarse a mano o mecánicamente: en el primer caso se hará sobre piso impermeable.

El cemento y la arena se mezclarán en seco hasta conseguir un producto homogéneo de color uniforme, a continuación se añadirá la cantidad de agua estrictamente necesaria para que una vez batida la masa, tenga la consistencia adecuada para su aplicación en obra.

Solamente se fabricará el mortero necesario para su uso inmediato, rechazándose todo aquel que haya empezado a fraguar y el que no haya sido empleado dentro de los cuarenta y cinco minutos que sigan a su amasadura.

Fábricas De Albañilería

Las fábricas de albañilería son las obras donde entra como elemento fundamental el bloque paralelepípedo de cerámica o de hormigón, tomado con mortero.

Los ladrillos que se empleen, deben ser macizos, huecos dobles o sencillos, perforados o especiales, cumplirán lo establecido en las disposiciones vigentes, en cuanto haga referencia a dimensiones, calidad y resistencia.

Los ladrillos se mojarán abundantemente con agua antes de su colocación.

Se colocarán siempre restregándolos horizontalmente sobre la capa de mortero y apretando hasta conseguir la junta necesaria. Esta junta quedará totalmente plana y tendrá, tanto en llagas como en tendeles, el grueso que indique la dirección facultativa.

Los muros se realizarán con el tipo de aparejo que se indique.

Los muros que se enlacen en esquina, cruce o encuentro se ejecutarán enjarrándolos simultáneamente entre ellos.

Las interrupciones del trabajo se harán dejando las fábricas en juntas o en escalonado diagonal, para facilitar una buena traba posterior. Cuando se comience de nuevo, se regará abundantemente la fábrica, limpiándola de polvo y mortero viejo.

Los tabiques son fábricas más pequeñas, generalmente sin función resistente y de ladrillo hueco. Según su grueso se denominarán: tabique -de cinco centímetros (5 cm)- o tabicón -de diez centímetros (10 cm)-.

Los tabiques se aplomarán perfectamente con sus hiladas bien alineadas. Se utilizará pasta de yeso para los tabiques y mortero M-50 para los tabicones.

En los tabiques se comprobará que debido al aumento de volumen el mortero de yeso no provoque alabeo de la fábrica.

Los tabiques se entregarán en los muros mediante rozas y cajas; entre tabiques siempre se hará por cajas.

En las paredes o tabiques que se entreguen en pilares metálicos o de hormigón se colocarán rodillos, con una separación máxima de setenta y cinco centímetros (75 cm) para el encadenado de un sistema con otro.

Los muros de bloques son fábricas de bloque hueco de mortero o mortero celular. Las condiciones generales del trabajo con estas fábricas son iguales que en el caso de fábricas cerámicas.

Cuando la dirección facultativa o el Proyecto lo indiquen, se llenarán algunos bloques con hormigón armado, con el fin de formar refuerzos en las esquinas, cruces, bordes o pequeños muros de contención.

Medición y pago

Las obras de fábrica cerámica o de hormigón, sean vistas o revestidas, se medirán por metros cúbicos (m^3) ejecutados, incluyendo en el precio los transportes, morteros, parte proporcional de formas especiales, detalles decorativos, coronación de paramentos (aunque sea de otros materiales), elementos de sujeción y piezas especiales necesarias para el acabado del elemento tal como se expresa en el Proyecto.

También dentro de este precio se incluirán la limpieza y los tratamientos especiales que requiera el paramento recién acabado, pudiendo la dirección de obra ordenar el rejuntado

de juntas una vez acabada la obra, entendiéndose estas operaciones incluidas en los precios unitarios si se observan defectos en las uniones.

A fin de asegurar la total impermeabilización de los paramentos exteriores de las obras de fábrica, la correcta terminación interior será abonada de acuerdo con las especificaciones del capítulo de revestimientos.

Las paredes y los tabiques de cualquier tipo se medirán por metros cuadrados (m^2), incluyéndose todo en lo ya mencionado.

Los tabiques, tanto de fábrica como prefabricados, translúcidos, tabiques de techo, celosías y bóvedas se medirán en metros cuadrados (m^2), incluyendo en el precio la parte proporcional de transporte, puesta en obra, morteros, materiales auxiliares, cimbras, piezas especiales y elementos de sujeción necesarios para la ejecución del elemento, así como todas las operaciones necesarias que indique la dirección facultativa para el perfecto acabado.

La formación de arcos se medirá en metros lineales (ml), incluyendo en el precio los materiales de albañilería, las cimbras y operaciones necesarias para su ejecución y todas las operaciones necesarias que indique la dirección facultativa para el perfecto acabado.

El peldañado y replanteo de escaleras se medirá por metros lineales (ml) de peldaño acabado, listo para recibir el revestimiento.

La formación de conductos de chimeneas o ventilación (shunt) se medirá en metros lineales (ml) de conducto acabado, sea prefabricado o ejecutado "in situ", incluyéndose todos los trabajos, materiales de cerramiento o mano de obra que se especifiquen en el Proyecto o que sean necesarios para cumplir la normativa vigente al respecto.

Las cajas de persianas enrollables, prefabricadas o realizadas "in situ", se medirán en metros lineales (ml), incluyendo los materiales y los trabajos necesarios para la ejecución o puesta en obra, entendiéndose incluidos en el precio todos los elementos y operaciones necesarias para cumplir la normativa, incluso el aislamiento térmico.

Revocos Y Enlucidos

Los revocos y enlucidos son revestimientos realizados con pastas o morteros de cualquier conglomerado, cal o cemento, así como con morteros mixtos.

Todos los materiales, cualquiera que sea su clase, cumplirán, en cuanto a calidades y características técnicas, las especificaciones de la normativa vigente o de la dirección facultativa.

Los enfoscados son revestimientos continuos realizados con mortero de cemento, en paredes y techos, interiores y exteriores.

No son aptas para enfoscar la superficies de yeso, ni las superficies realizadas con materiales análogos o inferior al yeso.

Se respetarán las juntas estructurales del edificio.

En enfoscados exteriores vistos, es necesario hacer un llagueado en recuadros de lado no menor de tres metros para evitar agrietamientos.

Se cortará el paso de agua de lluvia, jardineras u otros usos, a los techos exteriores mediante goterón.

El encuentro entre paredes o elementos verticales no enjarjados, cuyas superficies vayan a ser enfoscadas, se reforzarán con una tela metálica.

El soporte deberá presentar una superficie limpia y rugosa. Para enfoscar sobre superficies lisas de hormigón es necesario crear rugosidades en la superficie por picado o colocando una tela metálica.

Los pilares, vigas y viguetas de acero que deban ir enfoscadas, se forrarán previamente con piezas cerámicas o de cemento.

Se admiten los siguientes acabados en función del tipo de terminación sobre el enfoscado:

Rugoso: Cuando sirva de soporte a un revoco, estuco o plaqueado con piezas mayores de 5.5 cm. recibidas con pasta o mortero. Para dejar oculto. Bastará el acabado que dé el paso de la regla.

Fratasado: Cuando sirva de soporte a un enlucido, pintura rugosa o plaqueado con piezas menores de 5.5. cm. recibidas con pasta o mortero o piezas recibidas con adhesivo. Para dejar visto o encalado, pudiendo estar sometido a la acción directa de la lluvia. Se pasará sobre la superficie todavía fresca el fratas mojado de agua hasta conseguir que ésta quede plana.

Bruñido: En enfoscados de cemento cuando sirva de soporte a una pintura lisa o revestimiento pegado flexible o ligero. Para dejar visto cuando vaya a estar sometido al salpicado de agua. Sobre la superficie todavía no endurecida se aplicará con llana una pasta de cemento tapando poros e irregularidades, hasta conseguir una superficie lisa.

Antes de la ejecución del enfoscado se comprobará que:

1. Para enfoscados interiores está terminada la cubierta o tiene al menos tres plantas forjadas por encima.
2. Para enfoscados exteriores está terminada la cubierta y funcionando la evacuación de aguas. Cuando el enfoscado ha de quedar visto, deberán recibirse previamente los elementos fijos como ganchos y cercos.
3. Se han tapado los desperfectos que pudiera tener el soporte utilizando el mismo tipo de mortero que para el enfoscado.
4. Ha fraguado el mortero u hormigón a revestir.

Durante la ejecución del enfoscado:

1. Se amasará exclusivamente la cantidad de mortero que se vaya a necesitar. no se podrá añadir al mortero después de su amasado.
2. Se humedecerá el soporte previamente limpio
3. En tiempos de heladas se suspenderá la ejecución y se comprobará la parte enfoscada al reanudar los trabajos.
4. En tiempo lluvioso se suspenderá la ejecución cuando el paramento no esté protegido y se cubrirá la superficie con lonas o plásticos.
5. En tiempo extremadamente seco y caluroso o en superficies sobrecalentadas se suspenderá cuando la superficie esté expuesta a vientos secos y cálidos.

Después de la ejecución del enfoscado:

1. Una vez transcurridas veinticuatro horas de su ejecución se mantendrá húmeda la superficie enfoscada hasta que el mortero haya fraguado.

2. No se fijarán elementos sobre el enfoscado hasta que haya fraguado y no antes de siete días.

Medición y pago

Todos los revestimientos se medirán por metros cuadrados (m^2) de superficie revestida, descontando de los huecos entre cuatro y ocho metros cuadrados (4 y $8 m^2$) la mitad de su superficie.

En el precio de abono se incluirán todos los materiales, trabajos propios de colocación y ajustes de otros oficios, piezas especiales, coronaciones, preparación de los paramentos, cortes, juntas, limpieza y todo lo necesario para ejecutar el revestimiento de acuerdo con las especificaciones del Proyecto y de la dirección de obra, así como todos los trabajos y materiales necesarios para la correcta ejecución de las obras y para conseguir el cumplimiento de la normativa.

Cualquier operación o material especial que sea necesario incorporar al revestimiento, así como los ajustes propios para realizarlo o para cumplir con la normativa en el capítulo de puentes térmicos, se entenderán incluidos en los precios del revestimiento.

4.5 MONTAJE MECÁNICO

MONTAJE DE TUBERÍAS

Suministro, Transporte, Carga y Descarga

Las tuberías y sus accesorios deberán ser inspeccionados en origen para asegurar que corresponden a las solicitadas en los planos.

Para el transporte, carga y descarga, sólo se permitirán soportes, equipos y/o dispositivos que no produzcan daños a las tuberías y sus correspondientes accesorios. No se permitirá el arrastre o rodadura de las tuberías, ni su manejo con brusquedad o provocando impactos.

Con bajas temperaturas y heladas se adoptarán precauciones especiales para el manejo de aquellas fabricadas con materiales termoplásticos. Si las tuberías estuvieran protegidas exteriormente (por ejemplo, con revestimientos bituminosos o plásticos), no podrán manejarse con cadenas o eslingas de acero sin protección, que pudieran dañar la protección de las tuberías.

Todos los materiales que lleguen a obra, serán descargados utilizando los medios adecuados, y dejados sobre maderas para evitar el contacto con el suelo. Posteriormente a su recepción, se separarán, los materiales que hayan sido considerados rechazados por el Control de Calidad, de los aceptados.

Almacenamiento

Se separarán los materiales por calidades, teniendo especial cuidado en aislar los materiales de acero inoxidable (si los hay) de los de acero al carbono para evitar la contaminación de los mismos.

Los accesorios pequeños se dispondrán en estanterías debidamente separados por características comunes (calidades, dimensiones, espesores, rating, etc.)

Se pondrá especial cuidado en el almacenamiento de las bridas poniendo atención a que no se dañen las caras de junta de las mismas por golpes, ralladuras, etc. Los apoyos, soportes, camas y altura de apilado deberán ser tales que no se produzcan daños en las tuberías y sus revestimientos o deformaciones permanentes.

Las tuberías con revestimiento protector bituminoso no podrán ser depositadas directamente sobre el terreno.

Las tuberías y sus accesorios cuyas características pudieran verse directa y negativamente afectadas por la temperatura, insolación o heladas, deberán almacenarse debidamente protegidas.

Se adoptarán precauciones para evitar que las tierras puedan penetrar en la tubería por sus extremos libres. En el caso que alguno de dichos extremos o ramales vaya a quedar durante algún tiempo expuesto, pendiente de alguna conexión, se dispondrá un cierre provisional estanco al agua y asegurado para que no pueda ser retirado Inadvertidamente.

Las tuberías de P.V.C. y PE rígidos deberán ser soportadas prácticamente en su longitud total y en pilas de altura no superior a un metro y medio (1,5 m.). Asimismo, durante el tiempo transcurrido entre la llegada a obra de los tubos y su instalación, estarán debidamente protegidas de las radiaciones solares.

Condiciones Generales para el Montaje de Tuberías

Antes de dar comienzo a los trabajos de montaje se deberá tener en cuenta los siguientes aspectos:

- A. Obtener la información necesaria para el trazado y mecanizado de tuberías, interpretando planos, hojas de instrucciones, documentación técnica y órdenes de trabajo.
- B. Organizar el puesto de trabajo acopiando materiales, preparando y manteniendo equipos, herramientas, instrumentos y protecciones de trabajo, para hacer posible la mecanización de tuberías en taller de acuerdo con las normas de calidad y prevención de riesgos laborales y ambientales.
- C. Las partes de la tubería correspondientes a las juntas se mantendrán limpias y protegidas.
- D. Antes de comenzar el montaje, se realizará una inspección del interior de los tubos, válvulas, etc. Para asegurarse de que no contienen elementos extraños en su interior.

- E. El montaje de la tubería deberá realizarse con los soportes definitivos ya montados, y en caso de que ello no fuera posible se preverán soportes provisionales que serán retirados cuando se monten los definitivos.
- F. Durante este ensamblaje se procurará no crear tensiones en las conexiones producidas por la tubería, evitando para ello forzarla para acoplarla.
- G. Cada tramo de tubería se medirá y comprobará en cuanto a su alineación, cotas de nivel de extremos y pendiente.
- H. Se pondrá especial cuidado en el montaje de válvulas, verificando antes de su montaje la limpieza de las mismas y cuidado de utilizar estrobos de nylon (cuando sea necesario por su tamaño) y no estorbar nunca por el volante o actuador en el caso de válvulas motorizadas. Se tendrá en cuenta asimismo el sentido del flujo y la correcta posición de los actuadores en el caso de válvulas motorizadas. Si las válvulas son para soldar se tendrá en cuenta abrirlas antes de empezar el proceso de soldadura.
- I. Las correcciones no podrán hacerse golpeando las tuberías y la Dirección de Obra rechazará todo tubo que haya sido golpeado.
- J. Montar los soportes que faciliten el ensamble del conjunto de tuberías y accesorios en obra, cumpliendo las normas de calidad y de prevención de riesgos laborales y medioambientales.
- K. Posicionar, acoplar y fijar (incluyendo el punteo por TIG) los conjuntos de tuberías y accesorios necesarios, para el montaje de las tuberías, empleando los equipos necesarios y de acuerdo con las especificaciones técnicas, cumpliendo las normas de calidad y de prevención de riesgos laborales y medioambientales.
- L. Operar los equipos de corte y mecanizado (manuales y semiautomáticos), para la fabricación de tubería, cumpliendo las especificaciones técnicas exigibles, normas de calidad y de prevención de riesgos laborales y ambientales.

Soldadura

Este apartado será de aplicación siempre que se deban realizar operaciones de soldadura en cualquier elemento y/o fase de montaje.

Carlos Martínez Angulo

Los requisitos establecidos en este apartado son generales, siendo complementados cuando proceda, con los que aplique a cada elemento incluido en este Pliego y, en los casos necesarios, en los documentos particulares de contratación

1. La cualificación de los procedimientos de soldadura, homologación de soldadores y operadores de soldadura, se realizará de acuerdo con el Código ASME, Sección IX (en adelante ASME IX) ó con las normas EN287 Y EN288, y con los requisitos particulares que se dan más adelante en este apartado.
2. El resto de requisitos aplicables a la soldadura de cada elemento, incluido el alcance mínimo de ensayos no destructivos a realizar, será el más exigente entre los referidos en los códigos de diseño aplicables, este documento y la especificación técnica correspondiente.

Para soldaduras en tuberías de sistemas, independientemente de sus condiciones de servicio, se considerará siempre aplicable el Código ANSI/ASME B31.1 así como ASME III en las que lo requieran además de los requisitos adicionales indicados en este pliego.

Como norma general, todos los sistemas de tuberías serán soldadas a penetración completa y en aquellas tuberías cuyo $\varnothing < 2"$ podrán ser soldadas a socket con sus accesorios correspondientes.

3. Para soldaduras en estructuras metálicas y elementos similares será aplicable el Código ANSI/AWS D1.1 (en adelante AWS D1.1), la NBE-EA-95 o el EURO CÓDIGO 3.
4. Para soldaduras en tubería forzada serán aplicables las Recomendaciones de C.E.C.T.
5. Para soldaduras en equipos singulares serán aplicables las especificaciones e instrucciones particulares del fabricante.
6. El material de soldadura estará de acuerdo con el Código ASME, Sección II, Parte C y con los requisitos particulares que se dan más adelante en este apartado, salvo el correspondiente a equipos singulares, como caldera, grúas, compuertas, etc., para el que aplicará la especificación del fabricante.

7. Todos los soldadores deberán estar homologados para los procedimientos de soldadura que vayan a utilizar en las posiciones necesarias para la realización de los trabajos. Asimismo, deberá estar homologado el personal que realice puntos de soldadura.

Uniones Bridadas y Roscadas

Para la realización de una conexión bridada, se debe comprobar la planitud de la unión así como la ausencia de marcas y cuerpos extraños en la superficie de unión, procediendo a limpiar cuidadosamente la zona.

Las tolerancias admisibles no podrán superar los siguientes valores:

- $\pm 1,6\text{mm}$ desviación lateral respecto del eje de la tubería.
- $\pm 1,5\text{mm}$ desviación en centrado de orificios de amarre respecto del eje de la tubería.
- 0,25 paralelismo entre bridas.

Se comprobará así mismo el estado y calidad de las juntas, si las hubiera, y de los tornillos y tuercas de amarre.

Para proceder al apretado se instalarán todos los tornillos con sus tuercas presentadas a mano y se realizará el apriete en cruz en varias pasadas hasta conseguir el par de apriete requerido por la especificación.

Se prestará especial atención al estado de las roscas comprobando la ausencia de golpes, suciedad, elementos extraños o desgaste de las mismas.

Salvo cuando existan juntas flexibles (goma o neopreno) toda la tornillería se apretará con llave dinamométrica o similar de tal forma que cada tornillo, espárrago o bulón se le dé el par de apriete que le corresponda.

Los tornillos de acero inoxidable y de latón se apretarán siempre con llave dinamométrica y además se les aplicará un producto antigripante.

Cuando el sistema utilizado para el apriete, sea el de alargamiento por equipos hidráulicos, además de comprobar la calibración del equipo, se comprobará el alargamiento real de cada

perno o espárrago. Del mismo modo, cuando se utilicen calentadores de pernos y sistemas de control de elongación, éstos estarán debidamente calibrados.

Antes de proceder a la unión se limpiarán las roscas, tanto el extremo macho como el extremo hembra. Se aplicará el elemento sellante adecuado al tipo de fluido, temperatura, etc... (según la especificación técnica correspondiente) y se conexas hasta conseguir el ajuste final.

Se deberán someter a la aprobación de Dirección Facultativa. los procedimientos de apriete y control de uniones, aplicable a TODAS las uniones atornilladas. En especial se redactará un procedimiento específico para uniones atornilladas de elementos de máquinas rotativas, basado en la documentación del fabricante del equipo y con formatos a cumplimentar para el registro de los parámetros medidos durante el montaje.

Deberá establecerse un procedimiento de verificación de calibrado de componentes para el control de uniones, como tarado de llaves dinamométricas, calibrado de manómetros, tarado de termómetros, etc.

- El material de tornillería deberá cumplir con las normas DIN 267 y DIN 13.
- Las uniones atornilladas estarán de acuerdo con las normas NBE-EA95.

MONTAJE DE EQUIPOS

Cuando se hayan de manipular equipos se protegerán de manera que no sufran daño alguno, utilizando para ello los medios necesarios y suficientes.

Los equipos se colocarán de manera tal que no estén en contacto con el suelo, protegiendo las tubuladuras con bolsas o tapas a fin de evitar la entrada de suciedad en su interior.

EQUIPOS ESTÁTICOS

Para la manipulación de los equipos estáticos se dispondrán los medios de izado y transporte adecuados al peso y volumen de los mismos. En el caso de equipos con un peso superior a 10 tm se realizará un croquis de maniobras.

Antes de comenzar el montaje de los equipos se llevará a cabo una verificación del emplazamiento, comprobando ejes, cotas de nivel, dimensiones de bancadas, comprobación

de pernos y limpieza de los mismos.

Verificado lo anterior se izará el equipo, emplazándolo en su lugar, procediendo a continuación al nivelado y aplome de los mismos. Se tendrá especial cuidado en la orientación de las conexiones y las posibles interferencias con otros equipos existentes. Comprobado lo anterior se procederá al anclaje definitivo de los mismos.

Una vez convenientemente anclados, y en el plazo más breve posible, se procederá al recibido de las bases con el mortero de nivelación.

EQUIPOS DINÁMICOS

Se cumplirán las fases previas de verificación descritas en el apartado anterior.

Una vez colocados los equipos en su bancada y nivelados se efectuará una verificación preliminar a la alineación de los mismos antes de conectar las tuberías realizándose una comprobación posterior a la prueba hidráulica de las líneas, en las cuales se inspeccionará en principio que no se producen tensiones anormales en los acoples con los equipos.

Si se produjeran estas tensiones se tendría que realizar un alivio de las mismas en la soldadura cercana a la brida de conexión de los equipos.

La tolerancia máxima admitida en la alineación en los planos radial y axial será de 0,05 mm, medida sobre la superficie de acoplamiento, excepto que se indique otra cosa en los planos respectivos.

Se verificará asimismo que las partes móviles de los equipos giran libremente.

Una vez finalizado totalmente el montaje, al igual que con los equipos estáticos, se realizará el correspondiente protocolo de montaje de la máquina en el cual, además de la situación, nivelación, etc. se añadirán los valores de las tolerancias de alineación axial y radial obtenidos.

ESTRUCTURAS METÁLICAS

Este apartado se aplica a los trabajos de montaje de las estructuras metálicas definidas en los documentos particulares de contratación y en los planos correspondientes, incluyendo, de forma orientativa y no limitada, los siguientes tipos de estructura:

- Estructuras metálicas de edificios
- Rejillas y guías de ataguías
- Escaleras, plataformas y barandillas
- Carriles de rodadura y monocarriles
- Marcos, tapas y puertas
- Soportes en general

Será también de aplicación a los elementos similares, considerándose como tales aquellos elementos metálicos no incluidos en la relación anterior pero cuyas características de funcionalidad, materiales, proceso de montaje, etc. sean similares a las de los elementos relacionados.

Todos los soportes, tanto de tuberías como de canalizaciones eléctricas, serán fabricados en Acero al Carbono galvanizado, (siempre que no se diga otra cosa en las especificaciones técnicas y/o condiciones particulares), y se suministrarán con las demasías y despieces necesarios para su ajuste definitivo en obra.

Se deberá tener en cuenta los casquillos o calces metálicos necesarios para el montaje de toda estructura metálica, soportes en general, bastidores, etc., en las zonas en las que no esté el piso a cota definitiva. Este material servirá de asiento al soporte hasta la ejecución del solado a cota definitiva y quedará embebido en el mortero. La altura de estos calces podrá ser como máximo de 15cm.

El montaje de estructuras metálicas se llevará a cabo de acuerdo con todos los requisitos aplicables del Código ANSI/AWS D1.1: Structural Welding Code Steel (en adelante, denominado AWS D1.1). Edición correspondiente a la fecha del Contrato.

Serán de aplicación, asimismo, los siguientes códigos y normas:

- Normas de los materiales utilizados.
- Códigos y normas aplicables a soldadura, uniones atornilladas, fijaciones con pernos y protección anticorrosiva, según lo indicado en los apartados correspondientes de este Pliego.

Todos los materiales de Elementos tales como: tapas, marcos, escaleras y soportes en general serán suministrados en acero galvanizado, siempre que no se diga otra cosa en las especificaciones técnicas y/o condiciones particulares

INSPECCIÓN, PRUEBAS Y GARANTÍAS

INSPECCIÓN VISUAL

Toda la documentación técnica que se reciba en obra, será examinada para comprobar su alcance y definición. En caso de encontrar algún defecto o anomalía será comunicado al Técnico Responsable de la Obra o bien directamente al cliente para subsanar la anomalía o corregir el defecto.

Todos los materiales, equipos, etc. que se reciban en obra serán examinados para comprobar que no presentan defectos de fabricación, golpes de las manipulaciones y transportes, defectos por un inadecuado almacenamiento, etc. Si alguno de estos fallos es detectado, se emitirá una comunicación al Responsable de Compras y Logística, o al Técnico Responsable de la Obra, o bien se comunicará lo más pronto posible al Responsable del Cliente en Obra para su conocimiento.

Todos los trabajos que sean realizados en la obra, serán examinados para comprobar el estado de los mismos, en cuanto alcances, posibles desviaciones, acabados y pequeños detalles que demuestren el buen hacer y buen gusto. Cualquier defecto observado será comunicado al responsable del trabajo para subsanarlo, y en caso de que no sea posible, se comunicará al Técnico Responsable de la Obra para su conocimiento.

Constituyen el alcance de este apartado todos los materiales, equipos, etc., recibidos en Obra, todos los trabajos de soldadura, todas las Pruebas de Presión realizadas y las Recepciones Provisionales por parte del Cliente. En general se trata de inspeccionar de forma visual cualquier certificado. El certificado recibido será examinado para asegurar que corresponde correctamente con el material recibido o con el trabajo realizado, tanto en calidad como en cantidad.

En caso de encontrar alguna anomalía o defecto será comunicado al Técnico Responsable de la Obra.

PRUEBAS DE PRESIÓN

Pruebas neumáticas

Antes del inicio de la prueba, se proveerán los medios necesarios para realizarla, como conexiones, compresores, bloque de botellas (cuando sea factible), manómetros, válvula de seguridad, etc. de acuerdo con la presión de prueba.

El rango de los manómetros a utilizar en la prueba será tal que la presión de prueba quede comprendida entre la mitad y dos tercios aproximadamente del rango del manómetro.

Con el fin de evitar falsas lecturas, se colocarán al menos dos manómetros. Los manómetros se colocarán a ser posible en el punto más alto de la línea, y en caso de no ser esto posible se pondrán en un punto inferior, pero se deberá entonces tener en cuenta a la hora de la prueba la columna de gas diferencial entre el punto más alto y la situación del manómetro.

Los elementos no sujetos a la prueba de presión deberán ser desconectados o aislados mediante válvulas u otros medios disponibles.

El llenado de las tuberías se realizará como sigue:

- Subida de la presión hasta 1,7 Kg/cm² (ó hasta el 25% de la Presión de Prueba si este porcentaje fuera menor que 1,7 Kg/cm². Se dejará en esta presión durante 10 minutos y a continuación se hará inspección visual de todas las juntas
- Subida desde 1,7 Kg/cm² hasta el 50% de la Presión de Prueba y se mantendrá durante 10 minutos. Posteriormente se realizará una inspección visual de todas las juntas.
- Subida hasta el 75% de la Presión de Prueba, manteniéndose durante 10 minutos. Posteriormente se realizará una inspección visual de todas las juntas.
- Subida hasta el 100% de la Presión de Prueba y se mantendrá durante 10 minutos bajándose posteriormente hasta la Presión de Diseño. En este estado se realizará una inspección visual de todas las juntas utilizando agua jabonosa.

Antes de iniciar la prueba se deben forrar las uniones bridadas por su periferia colocando una cinta adhesiva a la cual se le practicará un taladro de 3 mm de diámetro para después aplicarle agua jabonosa para la detección de posibles fugas.

La bajada de presión se realizará muy lentamente para evitar cambios bruscos en los esfuerzos que soporta el material.

Una vez concluida la inspección a la Presión de Diseño, el sistema debe ser purgado completamente, asegurándose que no queda gas retenido, agua debajo de las válvulas de chequeo o secciones aisladas por otras válvulas.

Las líneas cuya presión sea igual, se podrán probar en la zona de prefabricación conexasionando las isométricas entre sí por las propias uniones embridadas de los mismos, dejando para el montaje las líneas que por sus dimensiones no puedan ser probadas de esta manera.

Las válvulas que no sean de seguridad se aprobarán con la línea a mitad de su paso y las que lo sean deberán tener la capacidad de descarga suficiente.

La Presión de Prueba no será inferior a 1,1 veces la Presión Interna de Diseño de la tubería en diseños según ANSI B31.3 y no inferior a 1,25 veces la Presión Interna de Diseño para elementos diseñados según ANSI B31.1.

Debido a la peligrosidad que entraña una prueba neumática, además de las normas generales de seguridad a aplicar, se tendrán en cuenta los siguientes puntos:

- Comprobación previa del buen estado de la bomba y equipos de pruebas. Las conexiones han de ser adecuadas para las presiones máximas que se van a alcanzar. Los manómetros deben estar contrastados, para evitar sobrepasar la presión de prueba.
- Todos los elementos no sometidos a la prueba deberán estar aislados y protegidos contra sobrepresiones.
- La prueba se realizará de acuerdo con el procedimiento poniendo especial cuidado en la secuencia de la misma, tal como el tiempo de llenado, mantenimiento de la presión y vaciado de la tubería.
- El equipo de prueba se colocará a una distancia mínima de 30 m. de la prueba.
- Se balizará la zona de la prueba quedando prohibida la presencia de personas ajenas a la prueba durante el desarrollo de la misma.

4.6 MONTAJE ELÉCTRICO

SUMINISTRO, TRANSPORTE, CARGA Y DESCARGA

Las bobinas de cables, cuadros eléctricos sus accesorios deberán ser inspeccionados en origen para asegurar que corresponden a las solicitadas en los planos.

Para el transporte, carga y descarga, sólo se permitirán soportes, equipos y/o dispositivos que no produzcan daños a los equipos y sus correspondientes accesorios. No se permitirá el arrastre o rodadura de los cuadros, ni su manejo con brusquedad o provocando impactos.

Todos los materiales que lleguen a obra, serán descargados utilizando los medios adecuados, y dejados sobre maderas para evitar el contacto con el suelo. Posteriormente a su recepción, se separarán, los materiales que hayan sido considerados rechazados por el Control de Calidad, de los aceptados.

En el Plan de Calidad de la obra, se establecerá el correspondiente procedimiento general de almacenamiento, en el que se contemplarán tanto los aspectos técnicos como de funcionamiento del almacén, con la definición completa del proceso a seguir, las condiciones técnicas y las responsabilidades para cada una de las actividades relacionadas con el almacenamiento, incluidas las actividades de conservación necesarias en esta fase.

En líneas generales, el procedimiento de almacenamiento deberá contemplar lo siguiente:

- Definición de áreas de almacenamiento para los distintos tipos de materiales y equipos, con indicación de las condiciones ambientales mínimas para aquellos cuya conservación lo requiera, así como de las correspondientes medidas de seguridad.
- Sistema de identificación de áreas de almacenamiento y códigos de ubicación de elemento. Movimientos de almacén. Registros u hojas de entrada y salida, control de altas, bajas y existencias en almacén.
- Los materiales de aportación deberán ser almacenados en un área acondicionada libre de humedad y con temperatura adecuada.

Replanteos previos

Previamente al inicio de los trabajos de montaje eléctrico, se realizarán los trabajos topográficos de replanteo, así como de la fijación y marcado de ejes y cotas de nivel y aportará los equipos y personal técnico necesarios para la ejecución de los mencionados trabajos.

Se realizará una relación de los puntos de referencia junto con los planos generales de replanteo donde figurarán las coordenadas de los vértices y los ejes de referencia establecidos. Previamente antes del inicio de los trabajos.

Se realizará el control de cotas, medidas, ángulos y elevaciones de los equipos a montar, así como de sus emplazamientos y situación respecto a ejes de referencia y comprobará la ejecución realizada por terceros cuando ello afecte a alguna de las actividades contratadas, indicando por escrito la aceptación de las mismas.

Serán rechazados todos aquellos valores, medidas, cotas, ejes o puntos de referencia que no hayan sido obtenidos a partir de los puntos y ejes de referencia inicialmente aprobados.

Si aparecieran errores en la colocación, nivelación, dimensiones o alineaciones de alguna parte del trabajo, se corregirá, realizándose las comprobaciones posteriormente para verificar la corrección de los trabajos.

Se realizarán marcas, señales topográficas y mojones que, conteniendo ejes y puntos de referencia, se encuentren dentro de las zonas de trabajos.

Si en el transcurso de las obras son destruidas algunas de estas señales, se deberán colocar, otras nuevas, realizando las oportunas comprobaciones.

Durante el transcurso de las obras se podrán establecer nuevos vértices y señales complementarias apoyadas en las señales de replanteo general, con el fin de facilitar los trabajos de replanteo.

Trabajos eléctricos generales

Este apartado será de aplicación al:

- Montaje de canalizaciones eléctricas, incluyendo en este concepto la canalización propiamente dicha, el soportado de la misma y las tapas o blindajes de protección que pudieran incluirse en el diseño.

- Tendido y conexionado de cables.
- Sistema de Puesta a Tierra.
- Sistema de Iluminación y Fuerza.
- Trabajos de Alta Tensión.
- Trabajos de Baja Tensión

Se establecen en este punto las instrucciones generales que deberán seguirse para la correcta preparación, ejecución y documentación de los trabajos que se lleven a cabo durante el montaje.

Serán de aplicación lo que se establezca, en lo que a canalizaciones eléctricas se refiere, en los siguientes Reglamentos:

- Reglamento, vigente a la firma del Contrato, sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación del Ministerio de Industria y Energía e Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT.
- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, vigente a la firma del Contrato, del Ministerio de Industria y Energía e Instrucciones Técnicas Complementarias MIBT.
- Instrucciones Técnicas del fabricante, aplicables a los equipos y componentes a instalar y correspondientes a almacenamiento, manipulación, montaje, ensayos y Puesta en Servicio.

El montaje de los soportes se hará de acuerdo con las instrucciones de los planos y teniendo en cuenta los requisitos aplicables de este Pliego en relación con:

- Estructuras metálicas
- Fijaciones de pernos
- Soldadura
- Uniones atornilladas

Las canalizaciones bajo tubo podrán ser de alguno de los siguientes tipos:

- De hormigón
- De cemento
- De plástico
- Metálicas y podrán discurrir enterradas en zanjas, empotradas o al aire.

Montaje de tubería

- Normalmente, el suministro de la tubería (metálica o de plástico), se efectuará en largos comerciales y accesorios, que serán conformados en obra según los planos correspondientes.
- El corte y roscado de la tubería a la medida especificada se hará de forma que los bordes libres de los tubos queden redondeados y exentos de aristas. Para ello se emplearán herramientas apropiadas y se efectuará un mandrinado.
- Además se tomará la precaución, en el caso de extremos libres de tubos metálicos, de colocar protectores de boca metálicos o plásticos que eviten el dañado de la cubierta de los cables.
- Se deberá prever, salvo indicación expresa en contra, fijaciones de doble expansión para los soportes. Asimismo, preverá elementos provisionales para la regulación de los planos de apoyo de los soportes, compensando las irregularidades locales del hormigón o estructura de apoyo.
- Durante el montaje de tubería en general se tomarán las precauciones necesarias para evitar que entren en los tubos agua, polvo o cualquier tipo de suciedad, agentes contaminantes, etc. Además, una vez terminado el montaje y en tanto no se pasen los cables a través de los tubos, los extremos de los mismos se cerrarán con tapas estancas.
- En el caso de tubería de acero inoxidable, y para conseguir la separación necesaria entre las tuberías y las estructuras metálicas del soportado, se colocarán unos casquillos de acero inoxidable o aluminio.

- Los tubos se unirán entre sí mediante accesorios adecuados a su clase que aseguren la continuidad de la protección que proporcionan a los conductores.
- Las curvas a practicar en los tubos serán continuas (radio constante) y no originarán en los mismos aplastamientos o reducciones de sección interior útil que representen más de un 2% de dicha sección en los tubos de diámetro superior a 3", ni más de 1% en los tubos de diámetro igual o inferior a 3".

A este respecto, se deberá prever la utilización de herramientas y plantillas adecuadas, tanto si el curvado se realiza en frío, como en caliente.

Canalizaciones en bandeja

- En el caso de que el suministro de bandeja se realice en dimensiones (largo x ancho) comerciales, se deberá presentarla y conformarla de acuerdo con los planos correspondientes.
- Para el corte de la bandeja a las medidas especificadas se emplearán herramientas apropiadas y se evitarán las aristas o rebabas cortantes en los bordes.
- En el caso de bandeja de acero inoxidable, y para conseguir la separación necesaria entre las tuberías y las estructuras metálicas del soportado, se colocarán unos casquillos de acero inoxidable o aluminio.
- Se deberá prever, salvo indicación expresa en contra, fijaciones de doble expansión para los soportes. Así mismo, preverá elementos provisionales para la regulación de los planos de apoyo de los soportes, compensando las irregularidades locales del hormigón o estructura de apoyo.
- Para la ejecución de los trabajos de montaje de canalizaciones a los que se alude en este apartado y en lo que se refiere concretamente a soldadura y uniones atornilladas, se ajustará a los requisitos que para cada caso hayan sido establecidos en el apartado correspondiente del presente Pliego.
- Las bandejas serán identificadas con etiquetas marcadas de forma indeleble, las cuales se colocarán:

- En ambos extremos junto a los puntos de entrada de equipos.
- Cada 5 m.
- A ambos lados de cualquier penetración.

Tendido y conexionado de cables

Antes del inicio de los trabajos de tendido y partiendo del replanteo de detalle de las canalizaciones, se elaborará un estudio de optimización de bobinas, así como un plan de tendidos.

Partiendo de los documentos indicados en el párrafo anterior, se elaborará un documento en el que quedarán reflejados todos los cables a tender, haciendo constar para cada uno de ellos, como mínimo, la siguiente información:

- Número de identificación
- Tipo y composición
- Longitud prevista
- Equipos de origen y destino
- Número de la bobina de donde procede

La información contenida en el documento citado en el párrafo anterior se pasará a fichas individuales (una por cada cable), denominadas "fichas de tendido", en las que se reservará espacio para los aspectos más significativos del tendido y conexionado, tales como:

- Longitud exacta utilizada
- Resistencia de aislamiento medida después de tendido
- N.º de regleta y borna de ambos extremos, a efectos de determinar el corte del cable correspondiente en cada caso

En ningún caso, excepto en los considerados excepcionales que se indican al final de este párrafo, se permitirán empalmes de cables. Es decir, las conexiones se realizarán cortando

trozos de longitud suficiente para evitar empalmes intermedios entre las mismas. Se considerarán casos excepcionales:

- Conexión intermedia diseñada por proyecto.
- Imposibilidad de ejecución sin conexión intermedia

El tendido se llevará a cabo de forma que no se produzcan daños en el cable, bien por roces con la propia canalización, o por excesiva tensión del mismo. Para evitar esto se tomarán, al menos, las siguientes precauciones:

- Los extremos de los conductos de cualquier tipo por donde haya de pasar el cable se protegerán con terminales adecuados.
- Para facilitar el paso de los cables a través de los conductos no se emplearán grasas ni materiales que puedan perjudicar el aislamiento de los mismos.

El tiro del cable se hará con malla metálica, sin sobrepasar el esfuerzo máximo de tracción admitido en cada caso por el fabricante del cable.

La longitud del cable a dejar por cada extremo para su conexión al equipo será, en general, de vez y media el recorrido interior de un hilo desde dicho extremo hasta el punto de conexión más alejado del equipo al que vaya destinado el cable.

La longitud extra del cable admitida para la conexión a un elemento sensor, microinterruptor, etc. de un equipo, es de 1 a 2 metros de su longitud teórica de conexión, en función de la precisión de la misma en el momento del tendido.

Las etiquetas con el número de identificación o designación de los cables, se colocarán en los extremos de los mismos a la entrada de los equipos o componentes conectados.

Adicionalmente, cada 25 metros de tendido y en los cambios de dirección y pasamuros, se marcarán los cables con el número de identificación, a fin de facilitar el seguimiento de los mismos.

Se elaborará un Procedimiento General para el Tendido de Cables en el que deberán reflejarse de forma convenientemente estructurada las condiciones técnicas, generales y específicas, establecidas el respecto en este Pliego, así como en los documentos particulares de contratación.

Carlos Martínez Angulo

Se elaborará un Procedimiento General de Conexionado que, apoyado en las condiciones establecidas en éste y otros documentos contractuales, contendrá, al menos, los requisitos para:

1. Pelado de cable
2. Introducción de cable al equipo
3. Identificación y pelado del hilo
4. Conexionado en borna

Antes de proceder al conexionado definitivo de los cables a sus equipos, se llevarán a cabo las siguientes operaciones y comprobaciones:

- Procederá al pelado de los hilos, para lo que se emplearán herramientas adecuadas, con el fin de no deteriorar el hilo ni su aislamiento.
- Efectuará una comprobación al 100% de la continuidad eléctrica entre los extremos de cada uno de los hilos que se pretendan conectar. Esta comprobación se realizará con el circuito abierto, alimentado con una batería c.c. y utilizando un aparato luminoso-acústico.
- Realizará, así mismo, una comprobación al 100% del aislamiento entre conductores y entre cada uno de ellos con tierra.

Para la medida de la resistencia de aislamiento se utilizará un Megger capaz de proporcionar una tensión continua en vacío comprendida entre 500 y 1000 voltios, para circuitos de baja tensión y de 2500 a 5000 voltios, para circuitos de alta tensión.

El valor de la resistencia de aislamiento, medida en ohmios, se considerará aceptable cuando supere la cantidad que se obtenga al multiplicar por 1000 la tensión máxima de servicio, expresada en voltios, con un valor mínimo de 250.000 ohmios.

Para la realización de las comprobaciones indicadas en el párrafo anterior, se elaborará un Procedimiento para Comprobación de la Continuidad y Aislamiento Eléctrico.

En dicho procedimiento se reflejará de forma ordenada y detallada la siguiente información:

- Aparatos y esquemas de la instalación para la comprobación de la continuidad eléctrica de los conductores.
- Medidas a realizar de la resistencia de aislamiento.
- Aparatos y esquemas de conexión para la realización de la medida de aislamiento.
- 4. Tabla de valores admisibles para la resistencia de aislamiento, en función de las diferentes tensiones de servicio que se dispongan en la Central.
- Precauciones que deberán tomarse durante la realización de las medidas y comprobaciones.

Los resultados obtenidos deberán quedar reflejados en la "ficha de conexionado" de cada cable.

Para la conexión de los diferentes hilos, se empleará una herramienta de engaste que garantice el control de la presión sobre el terminal.

El terminal a emplear en armarios eléctricos y paneles en general será del tipo de presión pre-aislado de punta u ojal, según exija el punto donde vaya conectado.

La conexión de los cables de alta tensión se hará siguiendo las instrucciones del fabricante de los mismos.

Paralelamente a la ejecución del conexionado, se llevará a cabo el etiquetado del cable, así como de los hilos que lo compongan, ajustándose a los siguientes requisitos:

- La etiqueta del cable se colocará en el punto de interrupción de la cubierta exterior.
- La etiqueta del cable llevará marcado con tinta indeleble su número de identificación y composición.
- Dichas etiquetas consistirán en un manguito termorretráctil.
- La etiqueta del hilo se colocará inmediatamente antes de su conexión a las regletas de origen y destino.
- La etiqueta del hilo llevará marcado con tinta indeleble el número de identificación del cable al que pertenezca y la borna de conexión de origen y destino.

- Dichas etiquetas consistirán en un manguito tipo omega.

Simultáneamente con el conexionado, se realizarán "in situ" las operaciones de taladrado, enhebrado del cable y apriete del prensa que deban llevarse a cabo para asegurar la estanqueidad del paso del cable o el grapado en perfiles normalizados que aseguren su firmeza.

Sistema de Puesta a Tierra

TENDIDO Y CONEXIONADO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA (PAT)

Se contará con un Programa de Puntos de Inspección y un Procedimiento General de Tendido y Conexionado de los Circuitos de Puesta a Tierra, cuyo alcance y contenido vendrá determinado por las condiciones o requisitos que a continuación se indican, así como por las que puedan ser establecidas a este respecto en los documentos particulares de contratación.

Para la realización del tendido de los conductores de tierra, se cumplirá lo indicado a continuación:

- Tomará las medidas necesarias para que el tendido de los conductores quede perfectamente alineado con las paredes, techos o estructuras que se tomen como referencia. Así mismo, los conductores quedarán perfectamente enderezados y sin flechas.
- No se admitirá, salvo cuando fuese necesario para atravesar muros o tabiques, el empotrado del circuito de tierra.

Para la realización del conexionado de los cables y pletinas de tierra, se cumplirán las condiciones desarrolladas a continuación.

- Las uniones entre cables o entre cables y pletinas de cobre desnudo se realizarán, según se indique en el Proyecto, de alguna de las siguientes formas:
 - Soldadura aluminotérmica
 - Uniones atornilladas
 - Grapas terminales.

- En el caso de uniones soldadas, se elaborará un Procedimiento para la realización de la Soldadura de tipo Aluminotérmico, en el que además de quedar reflejadas las variables del proceso, se establecerán la forma y los medios para el cumplimiento de las siguientes condiciones:

A. Preparación de la unión.

Se limpiarán cuidadosamente los conductores a unir hasta que éstos tengan el brillo del metal. Se podrá utilizar para esa operación lija o cepillo de acero. Los conductores mojados o húmedos deberán quedar perfectamente secos, pues la realización de la soldadura en tales circunstancias ocasionaría la aparición de porosidades, que harían rechazable la unión.

Así mismo, los conductores que hubieran sido tratados con aceites o grasa serán previamente desengrasados, utilizando para ello un producto adecuado.

Los moldes para la realización de la soldadura serán los que en cada caso (dependiendo de los materiales a unir), recomiende el fabricante aprobado.

A cada tipo de unión corresponderá un diseño de molde. No se permitirá la colocación de suplementos en los moldes para realizar soldaduras diferentes con un mismo diseño de molde.

Antes de realizar la soldadura, los moldes deberán limpiarse y secarse cuidadosamente.

B. Ejecución de la soldadura.

El personal que realice los trabajos de soldadura aluminotérmica deberá estar homologado, de acuerdo con ASME IX

Se deberán tener en cuenta las instrucciones del fabricante, las cuales se reflejarán en el procedimiento de soldadura.

El calor producido durante el proceso de unión no deberá provocar la fusión de ningún punto de los elementos a unir.

Figurarán en el procedimiento los criterios de rechazo de soldaduras, indicando que serán 100% rechazables las uniones con grietas, poros, derrames o cualquier otro fallo.

El máximo número de veces que se podrá emplear un mismo molde se establecerá a partir de las recomendaciones del fabricante (máximo 50 soldaduras). Como medida de seguridad adicional se llevarán a cabo muestreos, sobre un 5% de la uniones realizadas con un mismo molde.

- C. Las uniones atornilladas entre pletinas o las que se realicen con grapas especiales o mediante terminales, se efectuarán observando las siguientes precauciones.

Se limpiarán previamente las superficies de contacto, con el fin de que la resistencia eléctrica de la unión sea mínima. La limpieza indicada anteriormente se llevará a cabo de forma que no se elimine el galvanizado de las pletinas o estructuras que lleven este tratamiento. se deberá dar el par de apriete adecuado a los tornillos, con el fin de asegurar la continuidad de la unión.

Todos los cables, piezas y pletinas del sistema de puesta a tierra que queden vistos, tanto en edificios como en parques exteriores de alta tensión, se pintarán con esmalte sintético de color normalizado.

Sistema de Iluminación y Fuerza

REQUISITOS GENERALES

El Sistema de Iluminación y Fuerza comprende el montaje de todos los elementos integrantes del mismo, como son: torres de iluminación, báculos, cajas de automatismo, armarios de reactancias, receptores de luz, canalizaciones, cajas de derivación, tendido y conexionado de cables, etc.

Para la realización de los trabajos de instalación de canalizaciones, así como del tendido y conexionado de cables correspondientes a este Sistema, se tendrá en cuenta lo establecido al efecto en los apartados correspondientes del presente capítulo de Trabajos Eléctricos Generales.

Previamente al comienzo de la instalación, se llevará a cabo un replanteo y marcado de la misma, al objeto de estudiar posibles interferencias con otros equipos y se propondrán alternativas. en el caso de que existan dichas interferencias.

Se pondrá especial cuidado en conseguir que las canalizaciones y/o cables queden perfectamente paralelos a las paredes, techos o estructuras que sean tomadas como referencia a la hora de efectuar los trazados.

Normalmente las curvas del recorrido se realizan a cable descubierto, interrumpiendo el tubo 10 centímetros antes de las mismas. Se adoptará el sistema que se establezca para la introducción de los cables en las cajas o aparatos que lo requieran.

Dicho sistema será, salvo que expresamente se especifique otro, uno de los que a continuación se indican:

- A través de prensaestopas metálico.
- A través de prensas cónicas de material elástico cortado al diámetro requerido.

El cable de tierra, que normalmente va por dentro de la tubería, irá grapado junto con el cable de composición de alimentación en su recorrido exterior a obra de fábrica o estructura metálica.

Se prepararán las plantillas que sean necesarias para la correcta colocación de los espárragos de anclaje de las torres de iluminación o báculos.

Se deberá elaborar un Programa de Puntos de Inspección para cada uno de los diferentes sistemas de iluminación a instalar

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO

Índice de Presupuestos

DOCUMENTO IV: PRESUPUESTO	179
Índice de Presupuestos	180
PRESUPUESTO DE DIGESTORES	181
PRESUPUESTO OTROS EQUIPAMIENTOS	181
PRESUPUESTO OTRAS INSTALACIONES	182
PRESUPUESTO SISTEMA SEPARADOR DE DIGESTATO E HIGIENIZACIÓN	183
PRESUPUESTO TOTAL DE LA DIGESTIÓN	183
RESUMEN CAPEX-OPEX.....	184
GASTOS ANUALES - OPEX	184
GASTOS EN INVERSIÓN - CAPEX	185

PRESUPUESTO DE DIGESTORES

Artículos	Unidades	Observaciones	Cantidad	Precio Unidad	Precio Total
Digestores	ud.	Diámetro 31.48 m	2	857.500 €	1.715.000 €
Antorcha	ud	Capacidad de 230 m³/h hasta 800 m³/h	1		
Multimix	ud.	Capacidad de 40 m³/h	2		
Sistema Bombeo	ud.	Capacidad de 35 m³/h	1		
Dosificaciones Sólido	ud.	Capacidad de 80 m³	2		
Higienización		Tratamiento 60 Tm/dia			
TOTAL					1.715.000 €

PRESUPUESTO OTROS EQUIPAMIENTOS

Artículo	Unidades	Observaciones	Cantidad	Precio Unidad	Precio Total
Soplante CO ₂	ud.	_____	2	15.465 €	15.465 €
Tanque Recepción	m3	_____	300	68.756 €	68.756 €

Agitador	ud.	Agitador tanque digestato, no sedimentación	1	30.000 €	30.000 €
Analizador Biogás	ud.	Analizador de forma continua del biogás	1	16.549 €	16.549 €
Tubería CO₂ a invernadero	ud.	Presurización y control de CO ₂	1	15.900 €	15.900 €
TOTAL					115.305 €

PRESUPUESTO OTRAS INSTALACIONES

Artículos y observaciones	Precio Total
Electricidad BT: Cuadros BT, cables	74.568 €
Montaje Eléctrico	48.167 €
Montaje Mecánico	285.251 €
Apoyo Montaje Digestor	158.496 €
Apoyo Montaje Multimix, bombeo y antorcha	39.780 €
Distribución de calor: Tuberías, válvulas y accesorios; aislamiento.	72.800 €
Grúas y elevador	14.175 €
Instalación Neumática	20.050 €
Válvulas soplante, caldera y antorcha	10.300 €
Armarios neumáticos distribución	6.250 €
Tubing y trampas condensado	3.500 €
TOTAL	428.036 €

PRESUPUESTO SISTEMA SEPARADOR DE DIGESTATO E HIGIENIZACIÓN

Artículos y observaciones	Precio Total
Digestor + Tuberías	415.000 €
Montaje Eléctrico: trabajos conexionado	38.884 €
Montaje Mecánico	142.743 €
Apoyo Montaje Digestor	79.248 €
Apoyo Montaje Multimix, bombeo y antorcha	26.520 €
Distribución de calor: Tuberías, válvulas y accesorios; aislamiento.	22.800 €
Grúas y elevador	14.175 €
TOTAL	596.627 €

PRESUPUESTO TOTAL DE LA DIGESTIÓN

APARTADO	PRECIO
DIGESTORES	1.715.000 €
OTROS EQUIPAMIENTOS	115.305 €
OTRAS INSTALACIONES	428.036 €
SEPARADOR DIGESTATO E HIGIENIZACIÓN	596.627 €
PRESUPUESTO DIGESTIÓN	2.854.968 €

RESUMEN CAPEX-OPEX

GASTOS ANUALES - OPEX

COSTES	FASE 1	FASE 2
Eléctrico Total	339.545 €	419.053 €
Térmico Digestión Total	53.360 €	69.712 €
Térmico Higienización Total	41.440 €	48.160 €
Producto Químico Total	31.455 €	32.511 €
Consumibles Total	161.756 €	208.339 €
Explotación Total	115.875 €	115.875 €
Otros Costes	12.880 €	12.880 €
OPEX TOTAL	756.312 €	906.529 €
INGRESOS TOTALES	1.910.898 €	2.392.007 €
MÁRGEN OPERATIVO	1.154.586,48 €	1.485.478,35 €

GASTOS EN INVERSIÓN - CAPEX

COSTES	FASE 1	FASE 2
Digestión Anaerobia	2.258.341 €	2.854.968 €
Higienización	265.000 €	265.000 €
Upgrading de Biogás	1.039.000 €	1.145.840 €
Ósmosis Inversa	1.390.000 €	1.700.000 €
Comunes (Obra civil)	376.928 €	376.928 €
Sistema CO₂	32.014 €	32.014 €
Comunes (Caldera, Trafo, otros)	424.671 €	424.671 €
Ingeniería (legalización, dirección proyecto, visados)	74.112 €	74.112 €
Conexión Red de Gas	800.000 €	800.000 €
TOTAL CAPEX	6.660.065,00	7.673.532,00

BIBLIOGRAFÍA

BIOGAS UPGRADING. De biogás a biometano. Diferentes tecnologías de Upgrading para la generación de biometano. Disponible en: <http://biogasupgrading.es/>

BIOMASA. DIGESTORES ANAEROBIOS. IDAE, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Gobierno de España. Octubre de 2007 Disponible en: https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10737_biomasa_digestores_anaerobios_a2007_0d62926d.pdf

BRIGHT. TECNOLOGÍA PARA EL PROCESAMIENTO DE BIOGÁS. Disponible en: <https://www.bright-renewables.com/es/tecnologia-para-el-procesamiento-de-biogas/>

CONSULTA WELTEC. Disponible en: <https://www.weltec-biopower.es/contacto.html>

CONSULTA BIOVIC. Disponible en: <https://biovic-consulting.es/>

DIGESTIÓN ANAEROBIA DE PURINES DE CERDO Y CO-DIGESTIÓN CON RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. Universidad de Lleida, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Año 2001. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/6699/porci%202001%20final.pdf>

DIGESTIÓN ANAERÓBICA: OBTENCIÓN DE BIOGÁS. Daniel Oscar Bennardi. Disponible en: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66818/mod_resource/content/1/Apunte%20sobre%20digesti%C3%B3n%20anaer%C3%B3bica%20y%20biog%C3%A1s.pdf

GENIA BIOENERGY. Sistemas de inyección de biometano en red de gas natural. Disponible en: <https://geniabioenergy.com/sistemas-de-inyeccion-de-biogas-en-la-red/>

HOJA DE RUTA DEL BIOGÁS. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Gobierno de España. Marzo de 2022. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1Uw7iaML1Evh0e0nI91ZvNFWDCcwjprlN/view>

KROMSCHROEDER. DEPURACIÓN DE BIOGÁS. Depuración de biogás para inyección en la red o para uso como combustible en vehículos. Disponible en: <https://www.kromschroeder.es/productos-kromschroeder/eficiencia-energetica-renovables/renovables/carborex-ms-depuracion-de-biogas-mediante-membranas/>

MANUAL DE BIOGÁS Gobierno de Chile. Año 2011. Disponible en:

https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/manual_de_biogas.pdf

RENOVABLES ELÉCTRICAS, COGENERACIÓN Y RESIDUOS. Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, Gobierno de España. Normativas. Disponible en:

<https://energia.gob.es/renovables/Paginas/index.aspx>