

**UNIVERSITAT
JAUME·I**

**ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA
Y CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**GRADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

TRABAJO FIN DE GRADO

**PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA
GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE
LADOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA**

AUTOR:

Carlos Renau Morales

DIRECTOR:

Francisco J. Colomer Mendoza

Septiembre 2016

AGRADECIMIENTOS

- A Francisco J. Colomer Mendoza, tutor del proyecto, por interesarse por mí y acogerme en su despacho, escuchando mis dudas y revisando mis cálculos, planos y redacción. También quiero agradecerle la oportunidad que me brindó con la beca de investigación, permitiéndome conocer más acerca de su trabajo y de las tareas de laboratorio, así como de los profesores y técnicos que forman parte del departamento.
- A Ramón Cabello López, catedrático del área de conocimiento en máquinas y motores térmicos, por definirme los conceptos básicos a tener en cuenta en el diseño de intercambiadores de calor.
- A Sergio Chiva Vicent, profesor del área de mecánica de fluidos, por resolver mis dudas y aconsejarme en el dimensionado de las conducciones hidráulicas y de biogás.
- A Elisa Folch, analista de laboratorio, especial agradecimiento por preocuparse por mi formación y transmitirme su conocimiento.
- A Francisco J. Tejadillos Perona, jefe de planta de la EDAR Almassora, por supervisar mi estancia en prácticas y alimentar mi curiosidad.

ÍNDICE GENERAL

MEMORIA	1
ANEXOS.....	105
PLIEGO DE CONDICIONES	143
MEDICIONES Y PRESUPUESTO	179
PLANOS	201

MEMORIA

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. ANTECEDENTES.....	11
1.1. PARÁMETROS DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA	11
1.2. PROCESO DE DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR).....	13
1.3. OBTENCIÓN DE LODOS COMO CONSECUENCIA DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL. LÍNEA DE TRATAMIENTO DE FANGOS DE UNA EDAR	14
1.4. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA BIOMETANIZACIÓN DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS	15
1.5. CO-DIGESTIÓN DE LODOS JUNTO A RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES.....	17
1.6. EDAR DE ALMASSORA.....	18
1.7. EDAR DE VILA-REAL	19
1.8. SOLUCIONES PROPUESTAS.....	21
2. JUSTIFICACIÓN.....	23
3. OBJETIVOS.....	25
4. EMPLAZAMIENTO	27
4.1. EDAR DE ALMASSORA.....	27
4.2. EDAR VILA-REAL	28
5. VIABILIDAD TÉCNICA DE ACEPTAR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EDAR VILA-REAL EN LA EDAR DE ALMASSORA.....	29
5.1. CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES A TRATAR	29
5.2. CAPACIDAD DEPURADORA DE LA PLANTA DE ALMASSORA.....	29
5.3. CONCLUSIÓN	31
6. VIABILIDAD TÉCNICA DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA DECANTACIÓN PRIMARIA EN LA EDAR DE ALMASSORA.....	33
6.1. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN PRIMARIA DE LAS LINEAS INDUSTRIALES	33
6.2. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES	34
6.3. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN SECUNDARIA DE LAS LINEAS INDUSTRIALES	35
6.4. CONCLUSIÓN.....	35

7. ESTIMACIÓN DEL BIOGÁS PRODUCIDO	37
7.1. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE LODO PRODUCIDO EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN	37
7.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD NECESARIA DE RESIDUO ORGÁNICO BIODEGRADABLE A CO-DIGERIR	38
7.3. DISPONIBILIDAD DE RESIDUO ORGÁNICO BIODEGRADABLE COMO CO-SUSTRATO ...	38
7.4. SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES Y ESTIMACIÓN DE BIOGÁS PRODUCIDO	39
8. DISEÑO DEL DIGESTOR ANAEROBIO	41
8.1. DIMENSIONADO	41
8.2. REGULACIÓN DEL PH	42
8.3. SISTEMA DE AGITACIÓN.....	43
8.4. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN	45
9. POTENCIA TÉRMICA NECESARIA PARA CALEFACTAR EL DIGESTOR.....	47
9.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS A TRAVÉS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	47
9.2. CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA TOTAL PARA ABASTECER LAS NECESIDADES TÉRMICAS DEL DIGESTOR	49
10. VIABILIDAD DE GENERAR EXCEDENTE DE BIOGÁS.....	51
11. APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS.....	53
11.1. COGENERACIÓN DE AUTOCONSUMO COMO MÉTODO DE APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS.....	54
11.2. MICROTURBINA DE BIOGÁS COMO TECNOLOGÍA DE APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS. TRATAMIENTO DEL BIOGÁS.	57
11.3. RESUMEN Y ESQUEMA DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS POR COGENERACIÓN MEDIANTE MICROTURBINAS	62
12. INSTALACIÓN TÉRMICA	63
12.1. INTRODUCCIÓN AL INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO TIPO HORQUILLA.....	63
12.2. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO TIPO HORQUILLA	65
13. ALMACENAMIENTO DEL BIOGÁS	67
14. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS	69
15. RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DEL ROB	71
16. GESTIÓN DEL DIGESTATO	73
16.1. MARCO NORMATIVO DE GESTIÓN DE RESIDUOS EN UNA EDAR	73
16.2. GESTIÓN DEL DIGESTATO EN LA EDAR DE ALMASSORA	74
16.3. PROPIEDADES FERTILIZANTES DEL DIGESTATO.....	74

17. DIMENSIONADO DEL COLECTOR POR GRAVEDAD	77
17.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	77
17.2 CÁLCULO HIDRÁULICO	78
18. DIMENSIONADO DE LAS CONDUCCIONES DE LA EDAR ALMASSORA	81
18.1 CAPACIDAD DE LOS TRAMOS EXISTENTES PARA OPERAR BAJO LA NUEVA SITUACIÓN DE ESTUDIO	81
18.2 DIMENSIONADO DE LAS CONDUCCIONES DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS.....	82
18.3 DIMENSIONADO DE LAS CONDUCCIONES DEL DIGESTOR ANAEROBIO.....	83
19. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	85
19.1 LÍNEA 1: MICROTURBINAS	85
19.2 LÍNEA 2: SISTEMA DE AGITACIÓN DEL DIGESTOR ANAEROBIO.....	86
19.3 LÍNEA 3: COMPRESOR DE PISTÓN	86
19.4 LÍNEA 4: MOTORREDUCTOR.....	86
19.5 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA PROYECTADA	87
19.6 EQUIPOS DE PROTECCIÓN.....	88
20. RESUMEN DEL PRESUPUESTO.....	91
21. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	93
21.1 INVERSIÓN INICIAL	94
21.2 GASTOS.....	94
21.3 INGRESOS.....	95
21.4 ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA	97
22. CONCLUSIÓN	99
23. BIBLIOGRAFÍA	103

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1 - CROQUIS DE LAS LÍNEAS DE UNA EDAR.....	13
ILUSTRACIÓN 2 - GASÓMETRO DE DOBLE MEMBRANA.....	15
ILUSTRACIÓN 3 - DIAGRAMA DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA.....	15
ILUSTRACIÓN 4 - APLICACIONES Y PRODUCTOS DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAEROBIA	16
ILUSTRACIÓN 5 - DIGESTOR ANAEROBIO Y GASÓMETRO DE UNA EDAR	16
ILUSTRACIÓN 6 - ROB GENERADOS EN EL HOGAR.....	18
ILUSTRACIÓN 7 - SITUACIÓN DE LA EDAR DEL MUNICIPIO DE ALMASSORA.....	19
ILUSTRACIÓN 8 - EDAR ONDA-BETXÍ-VILA-REAL-ALQUERÍAS (IZQUIERDA) Y EDAR VILA-REAL (DERECHA)	20
ILUSTRACIÓN 9 – RECORRIDO DEL CONDUCTO A TRAVÉS DEL CUAL SE DESVIARÍA EL CAUDAL DE LA EDAR VILA-REAL (MARCADOR MORADO) A LA EDAR DE ALMASSORA (MARCADOR ROJO).....	21
ILUSTRACIÓN 10 - SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LA EDAR DE ALMASSORA	27
ILUSTRACIÓN 11 - SITUACIÓN GEOGRÁFICA DE LA EDAR VILA-REAL	28
ILUSTRACIÓN 12 - COMPOSICIÓN MEDIA DE LOS RESIDUOS URBANOS EN ESPAÑA.....	39
ILUSTRACIÓN 13 - BIOGÁS GENERADO PARA DISTINTOS RATIOS DE PRODUCCIÓN DE CH ₄	40
ILUSTRACIÓN 14 - SISTEMA DE COGENERACIÓN. OBTENCIÓN SIMULTÁNEA DE ENERGÍA TÉRMICA Y ELÉCTRICA.	40
ILUSTRACIÓN 15 - ESQUEMA DEL DIGESTOR ANAEROBIO MONOETAPA	41
ILUSTRACIÓN 16 - PH, PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y CONCENTRACIÓN DE VFA EN EL PROCESO DE CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y ROB EN UNA PROPORCIÓN 75:25 RESPECTIVAMENTE EN MATERIA SECA	42
ILUSTRACIÓN 17 - DE IZQUIERDA A DERECHA: SISTEMA DYNOMIX, SISTEMA DE LANZAS Y SISTEMA DE AGITACIÓN MECÁNICA	43
ILUSTRACIÓN 18 - AGITACIÓN DEL DIGESTOR CON DOS AGITADORES HORIZONTALES DE MONTAJE LATERAL (VISTA EN PLANTA)	44
ILUSTRACIÓN 19 - AGITADOR HORIZONTAL DE MONTAJE LATERAL	44
ILUSTRACIÓN 20 - INSTALACIÓN EN UN DIGESTOR DE UN AGITADOR DE MONTAJE LATERAL	44
ILUSTRACIÓN 21 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL HISTÓRICO DE VIENTOS EN EL MUNICIPIO DE ALMASSORA DESDE 1976 HASTA 2012.....	47
ILUSTRACIÓN 22 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA POTENCIA TÉRMICA DISIPADA POR EL DIGESTOR EN DISTINTAS ÉPOCAS DEL AÑO	48
ILUSTRACIÓN 23 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA DEMANDA TÉRMICA DEL DIGESTOR EN DISTINTAS ÉPOCAS DEL AÑO.....	49
ILUSTRACIÓN 24 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA POTENCIA BRUTA GENERADA PARA DISTINTOS RATIOS DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	51
ILUSTRACIÓN 25 - ESQUEMA DE COGENERACIÓN	53
ILUSTRACIÓN 26 - ESQUEMA DEL SISTEMA DE COGENERACIÓN IMPLEMENTADO EN UNA EDAR	54
ILUSTRACIÓN 27 - BALANCE DE ENERGÍA DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN.....	54
ILUSTRACIÓN 28 - MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO (IZQUIERDA) Y TURBINA DE GAS (DERECHA)	55
ILUSTRACIÓN 29 - ESTRUCTURA INTERNA DE UNA MICROTURBINA DE GAS	57
ILUSTRACIÓN 30 - TRATAMIENTO DE BIOGÁS	58
ILUSTRACIÓN 31 - FUNCIONAMIENTO DE UNA TRAMPA DE CONDENSADO	59
ILUSTRACIÓN 32 – FILTRO DE CARBÓN ACTIVO AIRCON® 200 DE DESOTEC	59
ILUSTRACIÓN 33 - MICROTURBINAS CAPSTONE DESDE 30 kW A 1000 kW.....	60
ILUSTRACIÓN 34 - MICROTURBINA CAPSTONE C65 ICHP Y SU DIAGRAMA DE FLUJO	60
ILUSTRACIÓN 35 - CONEXIONADO ELÉCTRICO DE LA MICROTURBINA	62
ILUSTRACIÓN 36 - ESQUEMA DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS POR COGENERACIÓN MEDIANTE MICROTURBINAS	62
ILUSTRACIÓN 37 - INTERCAMBIADOR SIMPLE DE DOBLE TUBO.....	63
ILUSTRACIÓN 38 - DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA EN INTERCAMBIADORES DE FLUJO PARALELO Y FLUJO CONTRACORRIENTE	63
ILUSTRACIÓN 39 - INTERCAMBIADORES DE DOBLE TUBO TIPO HORQUILLA	64

ILUSTRACIÓN 40 - DISPOSICIÓN DE LAS ALETAS EN EL TUBO INTERIOR DEL INTERCAMBIADOR	64
ILUSTRACIÓN 41 - GASÓMETROS CERRADOS DE MEDIA PRESIÓN DE 200 M ³	67
ILUSTRACIÓN 42 – DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS.....	69
ILUSTRACIÓN 43 – TOLVA DE RECEPCIÓN Y DOSAJE	71
ILUSTRACIÓN 44 - SISTEMA DE DOSAJE MODELO.....	71
ILUSTRACIÓN 45 - ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN FILTRO BANDA.....	74
ILUSTRACIÓN 46 - TRAZADO DEL COLECTOR POR GRAVEDAD	77
ILUSTRACIÓN 47 - PUENTE DE LA CARRETERA AUTONÓMICA CV-18 QUE CRUZA EL RÍO MIJARES.....	77
ILUSTRACIÓN 48 - DIAGRAMA DE FLUJO DEL DIGESTOR ANAEROBIO.....	83
ILUSTRACIÓN 49 - DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA PROYECTADA.....	87
ILUSTRACIÓN 50 - EQUIVALENCIA DE LAS EMISIONES CORRESPONDIENTES A LA ENERGÍA GENERADA POR LAS MICROTURBINAS	101

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS EDAR DEL MUNICIPIO DE VILA-REAL	20
TABLA 2 – CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS EDAR DE ALMASSORA Y VILA-REAL	29
TABLA 3 - CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES A TRATAR	29
TABLA 4 - CAPACIDAD DE TRATAMIENTO DE LAS LÍNEAS EXISTENTES FRENTE A LA NUEVA SITUACIÓN DE ESTUDIO	30
TABLA 5 - CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN PRIMARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES	33
TABLA 6 - PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN PRIMARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES..	33
TABLA 7 - CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES.....	34
TABLA 8 - PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES	34
TABLA 9 - CARACTERÍSTICAS DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN SECUNDARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES.....	35
TABLA 10 - PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN SECUNDARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES	35
TABLA 11 - RATIOS DE PRODUCCIÓN DE CH4 EN LA DIGESTIÓN MESOFÍLICA DE LODOS, ROB Y LODOS-ROB	37
TABLA 12 - CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS TRAS LA DECANTACIÓN.....	38
TABLA 13 - CARACTERÍSTICAS DE LOS LODOS TRAS EL PRE-ESPESADOR.....	38
TABLA 14 - PESO SECO DE CADA SUSTRATO	38
TABLA 15 - FRACCIÓN VOLÁTIL DE CADA SUSTRATO	39
TABLA 16 - SÓLIDOS VOLÁTILES DE CADA SUSTRATO	39
TABLA 17 - POTENCIAS TÉRMICAS DISIPADAS EN EL DIGESTOR EN INVIERNO	48
TABLA 18 - POTENCIAS TÉRMICAS DISIPADAS EN EL DIGESTOR EN PRIMAVERA/OTOÑO	48
TABLA 19 - POTENCIAS TÉRMICAS DISIPADAS EN EL DIGESTOR EN VERANO	48
TABLA 20 - VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON BIOGÁS	56
TABLA 21 - COMPOSICIÓN DEL BIOGÁS EN FUNCIÓN DE SU PROCEDENCIA	58
TABLA 22 - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MICROTURBINA CAPSTONE C65 ICHP	61
TABLA 23 - COMPOSICIÓN PROMEDIA DEL EFLUENTE DEL DIGESTOR. FUENTE: EMISON MEDI AMBIENT.	74
TABLA 24 - EQUIVALENCIAS ENTRE EFLUENTE DEL DIGESTOR Y DIFERENTES ESTIÉRCOLES. FUENTE: ALTECH.....	74
TABLA 25 - PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DEL COLECTOR PARA DISTINTOS CAUDALES.....	79
TABLA 26 - DIMENSIONADO DEL TRAMO 1	82
TABLA 27 - DIMENSIONADO DEL TRAMO 2	83
TABLA 28 - DIMENSIONADO DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE LAS MICROTURBINAS.....	85
TABLA 29 - DIMENSIONADO DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS DE LOS AGITADORES DEL DIGESTOR ANAEROBIO	86
TABLA 30 - DIMENSIONADO DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS DEL COMPRESOR DE PISTÓN.....	86
TABLA 31 - DIMENSIONADO DE LOS CONDUCTORES ELÉCTRICOS DEL MOTORREDUCTOR	87
TABLA 32 - CONDICIONES PARA EL DIMENSIONADO DE LOS INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS MAGNETOTÉRMICOS	88
TABLA 33 - RESUMEN DEL PRESUPUESTO	91
TABLA 34 - TABLA RESUMEN DEL GASTO MEDIO ANUAL	94
TABLA 35 - COSTES DE MANTENIMIENTO EN LA EDAR ALMASSORA ANTES Y DESPUÉS DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO.....	95
TABLA 36 - TABLA RESUMEN DEL INGRESO MEDIO ANUAL.....	96
TABLA 37 - COSTES DE PERSONAL EN LA EDAR VILA-REAL	96
TABLA 38 - ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA (EN €)	97
TABLA 39 - INDICADORES DE RENTABILIDAD DEL PROYECTO	97

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

AGV – ÁCIDOS GRASOS VOLÁTILES
DBO₅ – DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO MEDIDA A LOS 5 DÍAS
DQO – DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO
EDAR – ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES
EPSAR – ENTIDAD PÚBLICA DE SANEAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNIDAD VALENCIANA
INE – INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA
MCIA – MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO
MS – MATERIA SECA
NKT – NITRÓGENO KJELDAHL TOTAL
NO_x – ÓXIDOS DE NITRÓGENO
PR – PERIODO DE RETORNO
PVC-U – POLICLORURO DE VINILO NO PLASTIFICADO
ROB – RESIDUO ORGÁNICO BRUTO (FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS MUNICIPALES, FORM)
RSU – RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS
SH₂ – ÁCIDO SULFHÍDRICO
SV – SÓLIDOS VOLÁTILES
TIR – TASA INTERNA DE RETORNO
VAN – VALOR ACTUAL NETO

1. ANTECEDENTES

Una de las preocupaciones de la sociedad actual es el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. Por ello, hay un avance constante hacia la reducción del consumo energético, la preservación de las fuentes de materia prima, el desarrollo de tecnologías limpias, la reducción de residuos generados, la valorización de estos residuos...

Para valorizar y disminuir al mismo tiempo la cantidad de residuos que se incineran o se depositan en los vertederos, los tratamientos de biometanización son una alternativa a ser considerada, ya que, no sólo se reducen el volumen y se estabilizan los residuos, sino que, adicionalmente, proporcionan biogás. Además, diversas investigaciones han demostrado que la mezcla de distintos biorresiduos (co-digestión) genera más volumen de biogás y con mayor riqueza en metano que un residuo en solitario.

Es por ello que parte del presente proyecto estudia la posibilidad de acompañar la digestión anaerobia de lodos de depuradora junto a otros biorresiduos fruto de la actividad del hombre en el hogar.

1.1. PARÁMETROS DE LA CONTAMINACIÓN HÍDRICA

Se entiende por contaminación hídrica a cualquier modificación de las propiedades del agua que afecte de forma adversa a alguno de los usos que se le pudiera dar en su estado natural.

Los tipos de contaminantes del agua se pueden clasificar en los siguientes ocho grupos:

- **Microorganismos patógenos:** Son los diferentes tipos de microorganismos (virus, bacterias, protozoos y otros organismos microscópicos) que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc.
- **Desechos orgánicos:** Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias aeróbicas agota el oxígeno, no pudiendo vivir en esta agua peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno.
- **Sustancias químicas inorgánicas:** Son el conjunto de ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Incluso en pequeñas cantidades pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.
- **Nutrientes vegetales inorgánicos:** Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos que cuando mueren y son descompuestos por microorganismos, se agota el oxígeno imposibilitando la vida de otros seres vivos.
- **Compuestos inorgánicos:** Son moléculas inorgánicas fabricadas por el hombre, como gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, etc. que afectan al uso natural del agua.

- **Sedimentos y materiales suspendidos:** Constituyen la mayor fuente de contaminación del agua. Pueden obstruir canales, ríos y puertos, y provocan cierta turbidez que dificulta la vida de algunos organismos.
- **Sustancias radiactivas:** Existen isótopos radiactivos solubles que pueden estar presentes en el agua, acumulándose a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando en algunos tejidos vivos concentraciones considerablemente más altas.
- **Contaminación térmica:** El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

Con el objetivo de estudiar el grado de contaminación presente en un agua, se han definido parámetros tanto físicos-químicos como biológicos que sirven como indicadores de la contaminación, y son los que regulan el funcionamiento de una estación depuradora de aguas residuales (EDAR). En función del punto de vertido del agua residual depurada, esos parámetros de contaminación deberán cumplir con unos límites de vertido. Fundamentalmente son:

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** es un parámetro que mide la cantidad de sustancias, disueltas o en suspensión en una muestra líquida, susceptibles de ser oxidadas por medios químicos. Se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l).
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno consumido al degradar la materia orgánica de una muestra líquida. Normalmente se mide transcurridos cinco días de reacción (DBO_5) y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mgO_2/l).
- **Sólidos Suspendidos (SS):** expresa la concentración de sólidos suspendidos en una muestra líquida. Se expresa en miligramos SS por litro (mgSS/l).
- **Fósforo total:** La carga de fósforo total se compone de ortofosfato, polifosfato y compuestos de fósforo orgánico, siendo normalmente la proporción de ortofosfato la más elevada. Estas concentraciones se miden en miligramos por litro (mg/l).
- **Nitrógeno total:** La carga de nitrógeno total se compone fundamentalmente de nitratos, nitritos y amonio, así como el nitrógeno orgánico. Estas concentraciones se miden en miligramos por litro (mg/l).

Como norma general, los límites de vertido exigidos a las EDAR son:

	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción
<i>DQO</i>	125 mgO_2/l	70-90 %
<i>DBO₅</i>	25 mgO_2/l	75 %
<i>SS</i>	35 mg/l	90 %
<i>Fósforo total</i>	2 mg/l	80%
<i>Nitrógeno total</i>	15 mg/l	70-80%

1.2. PROCESO DE DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL EN UNA ESTACIÓN DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES (EDAR)

Una estación depuradora de aguas residuales, EDAR, tiene el objetivo genérico de conseguir, mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características, tomando como base ciertos parámetros normalizados.

El tratamiento convencional que recibe el agua en una EDAR está representado en el siguiente croquis. Se puede diferenciar entre la línea de agua y la línea de fangos, cada una con sus respectivos tratamientos.

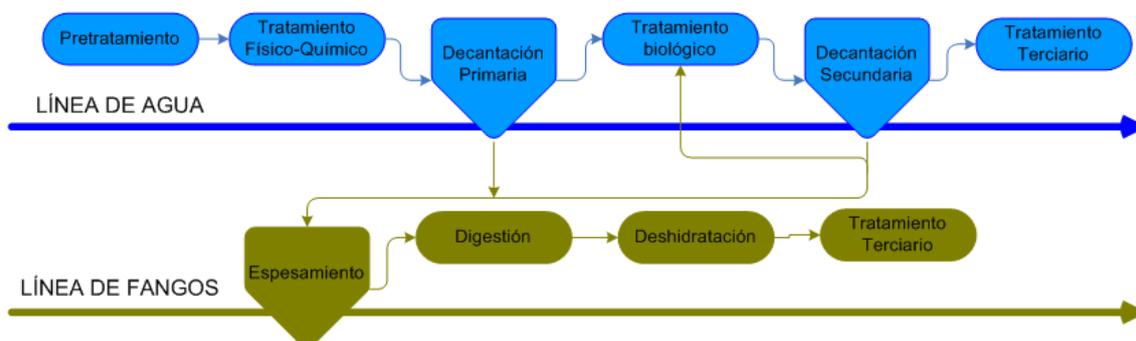


Ilustración 1 - Croquis de las líneas de una EDAR

El **pretratamiento** tiene asociado tres etapas: el desbaste para la eliminación de gruesos no solubles, el desarenado para la eliminación de arenas u otros residuos sólidos no orgánicos de pequeño tamaño, y el desengrasado para la eliminación de sólidos y líquidos no miscibles de menor densidad que el agua.

A continuación, y sólo en aquellos casos en los que el influente trae una elevada carga orgánica, con el fin de evitar alterar el hábitat de los microorganismos encargados de la depuración, se aplican los llamados **tratamientos físico-químicos**, que, por ejemplo, consiguen reducir la carga de sólidos suspendidos, fósforo y nitrógeno total, así como neutralizar el pH.

La **decantación primaria** o tratamiento primario logra eliminar partículas menores de un determinado tamaño que no han podido ser eliminados en el pretratamiento. Generalmente se trabaja con tiempos de retención hidráulica de 2 horas. El producto fruto de la decantación es lo que se conoce como lodo, y es tratado en la línea de fangos.

El **tratamiento biológico** constituye, propiamente dicho, el proceso de depuración, en el que se ataca a la fracción de contaminación disuelta en el agua. Para ello se recurre normalmente a bacterias que, dentro de grandes depósitos oxigenados, se encargan de convertir esta materia orgánica disuelta en sus componentes minerales. Existen muchos tipos de tratamientos biológicos (fangos activos, aireación prolongada, lechos bacterianos, biodiscos...), pero el principio de funcionamiento es común.

La **decantación secundaria** es un proceso similar a la decantación primaria, en el que se separan del agua los componentes minerales generados en el tratamiento biológico. Finalmente, y sólo cuando el efluente se destina a actividades humanas, recibe un **tratamiento terciario**, como cloración o rayos UV. De lo contrario se devuelve directamente a la naturaleza.

1.3. OBTENCIÓN DE LODOS COMO CONSECUENCIA DE LA DEPURACIÓN DEL AGUA RESIDUAL. LÍNEA DE TRATAMIENTO DE FANGOS DE UNA EDAR

En el proceso de depuración de aguas residuales, cuyo objetivo es eliminar la contaminación de ésta antes de ser devuelta al cauce receptor, se obtiene un subproducto denominado lodo. El lodo es una concentración de la contaminación que estaba presente en el agua residual, y su tratamiento y evacuación es bastante problemática.

El lodo se obtiene de la sedimentación que ocurre en los decantadores primarios y secundarios, obteniéndose una mezcla acuosa que presenta las siguientes características:

- Contenido en agua del (95-99%), por lo que ocupan un volumen importante que dificulta su manipulación.
- Gran contenido de materia orgánica, por lo que entran fácilmente en descomposición (putrefacción), generando malos olores.
- Contenido importante de organismos patógenos, causantes de enfermedades.

Esto hace que sea indispensable su tratamiento antes de poder emplearse para otros fines. Por tanto, es necesario:

- **Reducir el agua presente en los lodos**, evitando así el manejo de grandes volúmenes. Se consigue por medio de los denominados espesadores, que pueden ser por gravedad o por flotación, dependiendo de su procedencia y el tipo de tratamiento que se vaya a efectuar.
- **Estabilizar la materia orgánica**, evitando problemas de fermentación y putrefacción. Se logra por medio de un proceso de digestión, que puede ser aerobia o anaerobia en función de las condiciones de explotación. La gran ventaja de la digestión anaerobia frente a la digestión aerobia es que, durante el proceso de estabilización del lodo, se obtiene biogás con un alto contenido en metano, que puede ser utilizado como fuente de energía dentro de la planta. No obstante, requiere unas temperaturas mínimas de funcionamiento por encima de 27°C, por lo que, en la mayoría de los casos, todo el biogás generado se destina a la propia calefacción del digestor. Sin embargo, en depuradoras que manejan grandes caudales de lodo, puede llegarse a implementar un sistema de cogeneración, generándose simultáneamente energía térmica para abastecer al digestor, y energía eléctrica que puede ser inyectada a la red. En estos casos, el biogás generado se acumula en un gasómetro (Ilustración 2).
- **Conseguir una textura adecuada para que sean manejables y transportables**. Se logra por medio de un proceso de deshidratación.

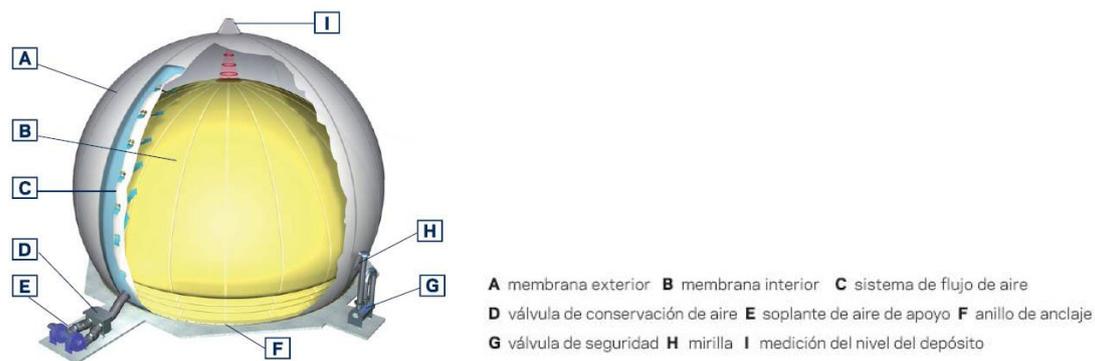


Ilustración 2 - Gasómetro de doble membrana

1.4. GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA BIOMETANIZACIÓN DE SUSTANCIAS ORGÁNICAS

Se denomina metanización o biometanización al proceso de fermentación o digestión anaerobia de los componentes orgánicos de los residuos que tiene lugar en ausencia de oxígeno, en la cual, parte de la materia orgánica se transforma, por la acción de los microorganismos, en compuestos más sencillos.

Estos compuestos son transformados a su vez en ácidos grasos volátiles (AGV), principales intermediarios y moduladores del proceso. Los AGV son consumidos por las arqueas metanogénicas que producen biogás, gas compuesto por metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) principalmente, con cantidades menores de nitrógeno gas, amoníaco, hidrógeno gas, y sulfuro de hidrógeno (normalmente menos del 1% del volumen total de gas).

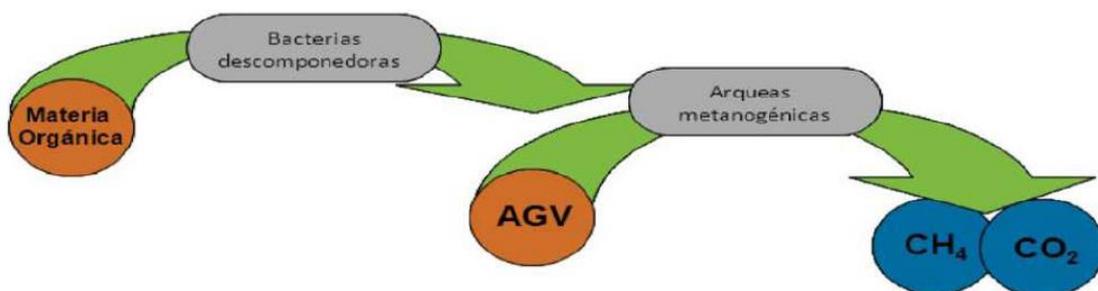


Ilustración 3 - Diagrama del proceso de digestión anaerobia

Por tanto, a parte de la obtención final de un residuo sólido pastoso utilizable como enmienda orgánica para la agricultura, denominado digestato, la digestión anaerobia es un proceso que produce biogás de alto contenido en metano, el cual puede ser usado como fuente de energía debido a su alto poder calorífico.

La digestión anaerobia puede aplicarse, entre otros, a residuos ganaderos, agrícolas, así como a los residuos de las industrias de transformación de dichos productos. Entre los residuos se pueden citar purines, estiércol, residuos agrícolas o excedentes de cosechas, etc. Estos residuos se pueden tratar de forma independiente o juntos, mediante lo que se da a llamar co-digestión, como se verá en el siguiente apartado.

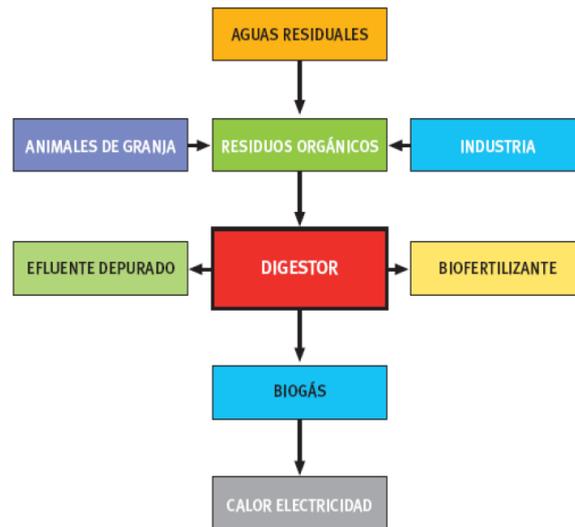


Ilustración 4 - Aplicaciones y productos del proceso de digestión anaerobia

La biometanización presenta una serie de ventajas con respecto al resto de métodos de tratamiento de residuos, puesto que durante su desarrollo no se producen ningún tipo de pestilencias. Además, el hecho de que se trate de un proceso anaeróbico, favorece la minimización de los microorganismos perjudiciales para la salud en un período reducido.

Adicionalmente, durante el proceso de fermentación anaeróbica también se origina un producto ligeramente básico ($\text{pH} = 7,5$) y no estabilizado al que se le atribuyen una serie de propiedades fertilizantes, pues actúa mejorando parte de las características físicas del suelo. La composición de este producto sufrirá importantes variaciones dependiendo del tipo de materia orgánica que es degradada, aunque en términos medios se encuentra constituido por un 85% de materia orgánica, un 2,6% de nitrógeno y presenta un porcentaje inferior al 2% de fósforo y potasio.

Para que la biometanización se pueda producir, se requiere de unas estructuras selladas que permitan mantener bajo control determinados parámetros como el pH, la presión o la temperatura durante la fermentación, llamadas digestores. Además, estas construcciones también se requieren ante la necesidad de crear un ambiente sin oxígeno para el desarrollo de las bacterias anaeróbicas.



Ilustración 5 - Digestor anaerobio y gasómetro de una EDAR

1.5. CO-DIGESTIÓN DE LODOS JUNTO A RESIDUOS ORGÁNICOS BIODEGRADABLES

La digestión anaerobia es un proceso que produce biogás de alto contenido en metano, el cual puede ser usado como fuente de energía debido a su alto poder calorífico. Además, este proceso cuenta con ventajas adicionales como la posibilidad de trabajar en rangos de temperatura diferentes y con elevadas cargas orgánicas, consiguiendo la higienización del efluente final.

Sin embargo, la digestión anaerobia de lodos como único sustrato, debido a su baja degradabilidad, resulta en elevados periodos de retención, lo que encarece el proceso. Además, dado la inadecuada relación de nutrientes presente en los lodos, la producción de biogás acaba siendo relativamente baja. Por ello, con el fin de aumentar la eficiencia y la viabilidad de la digestión de lodos, se han desarrollado diferentes pretratamientos y procesos de co-digestión.

Los pretratamientos favorecen la hidrólisis del lodo, aumentando su biodegradabilidad y la producción de metano. No obstante, como el incremento de metano que se consigue no es suficiente para compensar la energía invertida en el pretratamiento, estas técnicas no son implementadas actualmente.

La co-digestión de diferentes sustancias orgánicas, en cambio, puede mejorar la estabilidad del proceso, reduciendo la presencia de inhibidores y mejorando la biodiversidad del sustrato, sin encarecer inherentemente el proceso. Además, puede conseguirse un efecto sinérgico, de modo que las deficiencias de un sustrato se compensan con las suficiencias del otro sustrato.

Por ello, el presente proyecto estudia la posibilidad de acompañar la digestión anaerobia de lodos de depuradora junto a otros biorresiduos. Concretamente, debido a los motivos que se citan a continuación, se ha optado por usar como co-sustrato el residuo orgánico biodegradable (ROB) generado como consecuencia de la actividad humana en el hogar.

- Se ha documentado que la producción de CH₄ en la co-digestión de lodos y ROB es mayor que con la digestión de lodos como único sustrato, existiendo una proporción óptima que maximiza la producción de CH₄ (Edelmann, 2000; Hartmann et al., 2002; Heo et al., 2003; Kim et al., 2003; la Cour Jansen et al., 2004; Lebrato et al., 1995; Mata-Alvarez et al., 2000).
- Mientras que el lodo está caracterizado por tener un ratio C:N de entre 6 y 9, algunas investigaciones sugieren que el ratio óptimo para el desarrollo de la digestión se encuentra entre 20 y 30. Por tanto, gracias al elevado ratio C:N del ROB, la biometanización llevada a cabo por los microorganismos se ve favorecida en la co-digestión de lodos y ROB (Heo et al., 2003; Kim et al., 2003, 2004; Stroot et al., 2001).
- La hidrólisis ha sido reportada como la etapa limitante en la digestión anaerobia de lodos, debido principalmente a su alto contenido en proteínas, las cuales tienen menor potencial de hidrólisis que los carbohidratos y lípidos. Por ello, la adición de materia fácilmente degradable, como el ROB, mejora el rendimiento de la degradación y acelera la hidrólisis de los lodos, debido al rápido crecimiento de microorganismos anaerobios (Dohányos et al., 2004; Kim et al., 2003; Mottet et al., 2010).
- Otro de los beneficios de la co-digestión de lodos junto a ROB es la dilución de algunos compuestos potencialmente tóxicos e inhibidores (Murto et al., 2004; Purcell and Stentiford, 2006; Stroot et al., 2001).

- Finalmente, se ha valorado la disponibilidad de ROB en el municipio de Almassora, la cual se considera excelente debido a las siguientes instalaciones de RECIPLASA S.A.:
 - La estación de transferencia de residuos sólidos urbanos en el término municipal de Almassora, en la que se reciben, compactan y transportan diariamente los residuos procedentes de la recogida domiciliaria de cinco Ayuntamientos: Almassora, Benicàssim, Borriana, Castellón de la Plana y Vila-real.
 - La planta de reciclado y compostaje con vertedero de rechazos en el término municipal de Onda, donde se tratan diariamente los residuos recibidos procedentes de la estación de transferencia y de los municipios que vierten directamente en esta instalación: Betxí, l'Alcora y Onda.



Ilustración 6 - ROB generados en el hogar

1.6. EDAR DE ALMASSORA

Almassora es un municipio de la Comunidad Valenciana, España, situado en el sureste de la provincia de Castellón, en la comarca de la Plana Alta. Cuenta con cerca de 25.500 habitantes (INE 2014) y en los últimos años, la industria ha sufrido un fuerte crecimiento, especialmente en el sector cerámico y sus derivados, lo que ha dado motivo a la construcción de amplios polígonos que atienden a todas estas industrias.

La depuradora de Almassora, situada junto al río Mijares (Ilustración 7), fue proyectada con la idea de hacer frente a caudales de agua de elevada carga orgánica, ya que se esperaba que los emergentes polígonos industriales generasen altos niveles de contaminación. Sin embargo, el caudal influente, así como el grado de contaminación, resultaron estar muy por debajo de los niveles de diseño, teniendo actualmente unas instalaciones sobredimensionadas en exceso.

La depuradora, que cuenta con una capacidad total de 13.500 m³/día y una potencia total instalada de 1073 kW, atiende a una población equivalente de 26.526 habitantes. Incorpora tres líneas de tratamiento de agua de igual capacidad, dos de las cuales están destinadas a tratar aguas residuales industriales, por lo que cuentan con la balsa de homogenización y el tratamiento físico-químico.

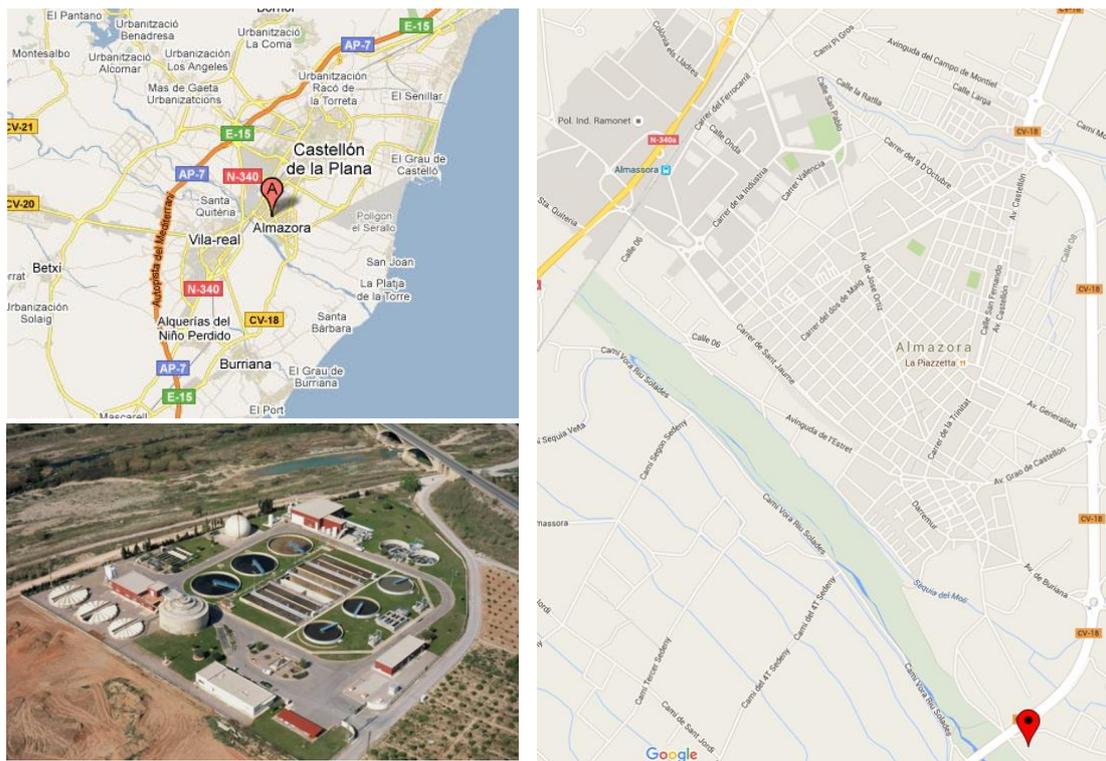


Ilustración 7 - Situación de la EDAR del municipio de Almassora

La depuración de las aguas residuales se lleva a cabo por medio de lodos activos (reactor biológico de flujo de pistón), con la correspondiente eliminación del nitrógeno y fósforo. También cuenta con un tratamiento terciario de cloración. La línea de fangos cuenta con dos pre-espesadores y un post-espesador, todos ellos por gravedad, un digester anaerobio y dos de filtros banda para la deshidratación.

Con un caudal actual de entrada de 6500 m³/día, de las tres líneas proyectadas, únicamente las dos líneas industriales están en funcionamiento, pero tanto el tratamiento físico-químico como la decantación primaria se encuentran inutilizadas, dado que de lo contrario el reactor biológico no recibe suficiente carga orgánica para sus dimensiones y la población de microorganismos disminuye por debajo del mínimo.

Esto último también afecta a la calidad de los lodos y a su capacidad para generar biogás, dado que los lodos obtenidos en la decantación primaria responden mejor a la biometanización que los lodos obtenidos tras el reactor biológico. Además, el digester actual está excesivamente sobredimensionado, lo que aumenta las pérdidas por transmisión de calor y la energía calórica necesaria para mantenerlo a la temperatura que requiere el proceso.

1.7. EDAR DE VILA-REAL

Vila-real es una ciudad de la Comunidad Valenciana, España, situada en el sureste de la provincia de Castellón, en la comarca de la Plana Baja. Cuenta con 50 755 habitantes (INE 2014) y se trata del segundo municipio con más población de la provincia de Castellón y del decimoquinto más poblado de la Comunidad Valenciana.

Para el tratamiento de sus aguas residuales, la ciudad cuenta con dos EDAR:

	<i>EDAR Onda-Betxí-Vila-real-Alquerías</i>	<i>EDAR Vila-real</i>
<i>Caudal de proyecto (m³/día)</i>	22486	15000
<i>Potencia Total Instalada (kW)</i>	919	305
<i>Caudal influente (m³/día)</i>	9498	3486
<i>Población servida (he)</i>	58637	19675

Tabla 1 - Características principales de las EDAR del municipio de Vila-real

De las dos EDAR, la que en este proyecto va a ser objeto de estudio va a ser la EDAR Vila-real, también conocida como EDAR de Vora Riu.



Ilustración 8 - EDAR Onda-Betxí-Vila-real-Alquerías (izquierda) y EDAR Vila-real (derecha)

A diferencia de la EDAR de Almassora, la EDAR Vila-real cuenta con una única línea de tratamiento de aguas con desbaste, decantación primaria, lodos activos y decantación secundaria. La línea de fangos está constituida de un espesador por gravedad, un proceso de digestión aerobia, y deshidratación por filtro banda.

Citando al concejal de Territorio Emilio M. Obiol: “Durante más de 15 años, la depuradora de Vora Riu ha sido foco de controversia política, ambiental y económica. Ambiental, porque no reúne las condiciones ambientales necesarias y ha sido fuente de problemas; económica porque supone para el Ayuntamiento un coste anual de 692.000 euros; y política porque se ha planteado en ocasiones el debate entre mejorarla o eliminarla. [...] Después la EPSAR puso sobre la mesa una tercera vía, la posible eliminación de la vieja depuradora, que data de finales de los años 70. Hemos negociado y valorado las ventajas e inconvenientes de esta opción y hemos decidido suprimirla, eliminando también de esta manera los costes económicos y, sobre todo, ambientales de la vieja estación de Vora Riu”.

Por tanto, a continuación se plantea desviar el caudal de la EDAR Vila-real a la de Almassora (Ilustración 9).

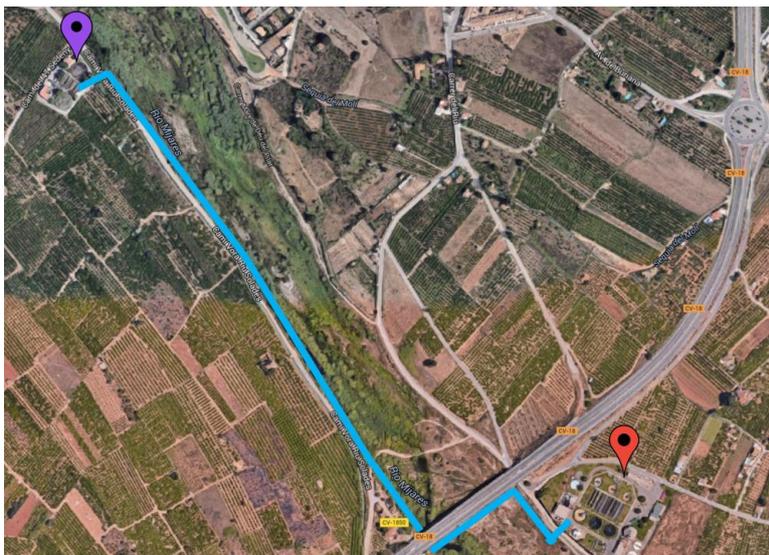


Ilustración 9 – Recorrido del conducto a través del cual se desviaría el caudal de la EDAR Vila-real (marcador morado) a la EDAR de Almassora (marcador rojo).

1.8. SOLUCIONES PROPUESTAS

Con todo lo expuesto anteriormente, resulta evidente que las condiciones de explotación no son las adecuadas para ninguna de las dos depuradoras, y que, por tanto, es conveniente llevar a cabo alguna modificación que permita mejorar su situación actual.

Se ha observado que, perteneciente al municipio de Vila-real, muy próximo a Almassora, hay una planta depuradora funcionando muy por debajo de su capacidad de diseño. La alternativa que en el presente proyecto se valora es la desviar a Almassora el caudal de dicha depuradora (EDAR Vila-real), la cual trabaja con 3.500 m³/día de los 15.000 proyectados, atendiendo a una población equivalente de 19.675 habitantes.

Con esto se pretende que puedan entrar en funcionamiento parte de las instalaciones que actualmente se encuentran fuera de funcionamiento, a la vez que se eliminan los gastos de mantenimiento y explotación de la otra planta depuradora.

Adicionalmente, con la intención de lograr un proceso de valorización de lodos más eficiente que el que se encuentra en funcionamiento, se sustituirá el digestor por uno nuevo, diseñado acorde a la carga contaminante que recibe la planta hoy en día.

Así mismo, dado que la co-digestión de ciertos residuos pueden producir un efecto sinérgico en el proceso de biometanización, se estudiará la opción de co-digerir, junto a los lodos, otros biorresiduos que de otra forma no serían valorizados adecuadamente.

Con estas alternativas no se pretende ni mucho menos hacer positivo el balance energético y económico de una estación depuradora. No obstante, se espera alcanzar un nuevo régimen de funcionamiento que sea más eficiente que el punto de partida, es decir, que consuma menos recursos para generar el mismo resultado.

2. JUSTIFICACIÓN

Actualmente la EDAR de Almassora está trabajando al 50% de su capacidad máxima de diseño, y únicamente están en funcionamiento dos de las tres líneas proyectadas. Si a esto se le suma el hecho de que la carga orgánica de dichas aguas no alcanza los valores para los cuales la planta fue proyectada, resulta evidente que se está ante unas condiciones de explotación desfavorables:

- El tratamiento físico-químico ha demostrado ser innecesario, pues la carga contaminante de las aguas residuales industriales no es suficientemente elevada.
- La decantación primaria se encuentra inhabilitada para que así llegue suficiente alimento al reactor biológico. No obstante, esto provoca los sólidos suspendidos en el reactor estén por encima de lo conveniente.
- El digestor anaerobio, debido fundamentalmente a su sobredimensionado, tiene un rendimiento térmico y una producción de biogás reducida.

En resumen, se tiene una EDAR muy bien equipada pero que cuenta con gran parte de sus instalaciones desaprovechadas.

Por otro lado, se ha observado que la EDAR Vila-real, sin digestor anaerobio y con una única línea de tratamiento de aguas, trabaja a un 25% de su capacidad, siendo un foco de controversia política, ambiental y económica. De hecho, ya se ha alcanzado un acuerdo entre la Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR) y el ayuntamiento de Vila-real para el cierre de esta planta depuradora.

Por ello, se ha planteado la posibilidad de aceptar en la EDAR de Almassora las aguas residuales de la EDAR Vila-real. De esta forma se puede hacer un uso más eficiente de las instalaciones de Almassora, a la vez que se eliminan los gastos de mantenimiento y explotación de la EDAR de Villareal.

En cuanto al digestor anaerobio, con el que hay actualmente difícilmente se va a poder obtener un buen rendimiento térmico, por lo que se dimensionará uno nuevo que se adapte a las condiciones reales de explotación. Además, con el objetivo de valorizar a la vez que disminuir la cantidad de residuos que se incineran o se depositan en los vertederos, se valorará la opción de co-digerir junto a lodo de depuradora los residuos orgánicos biodegradables generados como consecuencia de la actividad humana en el hogar.

3. OBJETIVOS

El principal objetivo que persigue el presente proyecto es hacer un uso más eficiente de las instalaciones que se tienen en la EDAR de Almassora, de modo que el nuevo coste de explotación sea inferior a los costes de explotación actuales de las EDAR Vila-real y Almassora.

Del mismo modo y en la medida de lo posible, se tratará de rentabilizar el proceso de digestión anaerobia mediante la co-digestión de lodos con residuos orgánicos biodegradables.

En base a lo anterior, en el presente trabajo final de grado, se pretende:

- Estudiar la viabilidad técnica de aceptar las aguas residuales de la EDAR Vila-real en la EDAR de Almassora.
- Estudiar la viabilidad de poner en funcionamiento parte de las instalaciones que actualmente se encuentran inutilizadas.
- Estudiar la viabilidad de generar excedente de biogás junto con la posibilidad de co-digerir lodos y otros biorresiduos en busca de un efecto sinérgico.
- Diseñar el digestor anaerobio necesario para la co-digestión de lodos y biorresiduos, así como el sistema de agitación y automatización que corresponda.
- Diseñar, si existiese un exceso de biogás, el sistema de cogeneración correspondiente.
- Diseñar las conducciones hidráulicas y las conducciones de gas, así como los equipos auxiliares que permitan el funcionamiento del sistema en conjunto.
- Diseñar las líneas eléctricas y los correspondientes equipos de protección a instalar para el suministro eléctrico de la maquinaria propuesta en el proyecto.
- Estudiar la viabilidad económica del proyecto.

4. EMPLAZAMIENTO

4.1. EDAR DE ALMASSORA

Almassora es un municipio de la Comunidad Valenciana, España, situado en el sureste de la provincia de Castellón, en la comarca de la Plana Alta. La EDAR que recibe las aguas residuales de dicho municipio se encuentra situada junto al río Mijares y la carretera autonómica CV-18. Las coordenadas de la depuradora son 39°55'55" N, 0°03'27" W, y está situada a 23 metros sobre el nivel del mar.



Ilustración 10 - Situación geográfica de la EDAR de Almassora

Las modificaciones y mejoras que se realizarán respecto a las instalaciones actuales tendrán lugar, por un lado, en la línea de tratamiento de lodos de la depuradora, más concretamente en la etapa de digestión anaerobia tras la etapa de pre-espesado. El post-espesado y la deshidratación mecánica permanecerán intactos, así como las conducciones que interconectan todas estas etapas.

Por otro lado, otra parte de las modificaciones va destinada a la línea de tratamiento y aprovechamiento del biogás. Del mismo modo, se reutilizará parte de las instalaciones existentes, como el gasómetro de membrana, los dispositivos de filtrado y deshumificación del biogás, la antorcha y las conducciones correspondientes. Las mejoras se enfocarán en la implementación de un sistema de co-generación para generar simultáneamente energía térmica para calefactar el digestor, y energía eléctrica para autoconsumo.

Finalmente, con el objetivo de aceptar las aguas residuales de la EDAR Vila-real a la EDAR de Almassora, se instalará una conducción que comunique ambas depuradoras. Dado que la EDAR Vila-real se encuentra a 30 metros sobre el nivel del mar, se obtiene una diferencia de cotas entre depuradoras de 7 metros, pudiéndose instalar un colector por gravedad sin necesidad de usar equipos de bombeo.

4.2. EDAR VILA-REAL

Vila-real es una ciudad de la Comunidad Valenciana, España, situada en el sureste de la provincia de Castellón, en la comarca de la Plana Baja. Las aguas residuales de dicho municipio se reparten entre la EDAR Vila-real y la EDAR Onda-Betxí-Vila-real-Alquerías. La depuradora que es objeto de estudio en el presente proyecto es la EDAR Vila-real, situada junto al camino Vora Riu Solades y el río Mijares. Las coordenadas de la depuradora son 39°56'18" N 0°04'05" W, y está situada a 30 metros sobre el nivel del mar.



Ilustración 11 - Situación geográfica de la EDAR Vila-real

En la ilustración 9 queda reflejada la cercanía de ambas depuradoras, de tan solo 1,3 km, así como el recorrido de la conducción que permitiría trasladar las aguas residuales de la EDAR Vila-real a la EDAR de Almassora.

5. VIABILIDAD TÉCNICA DE ACEPTAR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA EDAR VILA-REAL EN LA EDAR DE ALMASSORA

5.1. CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES A TRATAR

Para la estimación del caudal de las aguas residuales a tratar, se ha partido de los datos publicados por la EPSAR en su página web. Sin embargo, la EPSAR no publica datos acerca del grado de contaminación de esas aguas, por lo que esta información ha tenido que ser facilitada personalmente por los jefes de planta de cada depuradora. Los datos se muestran en la siguiente tabla:

	EDAR ALMASSORA	EDAR VILA-REAL
<i>Q (m³/día)</i>	6382	3486
<i>DQO (mg/l)</i>	500	600
<i>DBO (mg/l)</i>	250	280
<i>SS (mg/l)</i>	260	300
<i>NKT (mg/l)</i>	29	37
<i>Fósforo (mg/l)</i>	7	10

Tabla 2 – Caudal y características de las aguas residuales de las EDAR de Almassora y Vila-real

Dado que se pretende desviar la totalidad del caudal de la EDAR Vila-real a la depuradora de Almassora, el caudal total se obtendrá como la suma de ambos caudales. No obstante, en vistas a un posible aumento del caudal, se ha sobredimensionado en un 5%.

Finalmente, a partir de los datos de caudal y contaminación media de las aguas residuales de cada planta depuradora, acorde a lo explicado en el punto 1 de los Anexos, el caudal y las características de las aguas a tratar son las indicadas en la tabla siguiente:

<i>Q (m³/día)</i>	10361,4
<i>DQO (mg/l)</i>	535,33
<i>DBO (mg/l)</i>	260,60
<i>SS (mg/l)</i>	274,13
<i>NKT (mg/l)</i>	31,83
<i>Fósforo (mg/l)</i>	8,06

Tabla 3 - Caudal y características de las aguas residuales a tratar

5.2. CAPACIDAD DEPURADORA DE LA PLANTA DE ALMASSORA

Debido a la emergente actividad industrial presente en los polígonos industriales del municipio de Almassora, la depuradora fue dimensionada con la idea de hacer frente a caudales de agua de elevada carga contaminante. No obstante, el caudal influente, así como el grado de contaminación, resultaron estar muy por debajo de los niveles de diseño, teniendo actualmente unas instalaciones sobredimensionadas en exceso. Por este motivo, cabe esperar que la planta tenga capacidad suficiente como para afrontar la nueva situación.

La siguiente tabla muestra los parámetros de diseño que se emplearon en su día en el dimensionado de las líneas de tratamiento de la planta de Almassora, así como las características del agua residual de la situación objeto de estudio.

	<i>L. doméstica</i>	<i>L. industriales</i>	<i>Nueva situación</i>
<i>Caudal medio diario (m³/día)</i>	4500	9000	10361
<i>Caudal medio horario (m³/h)</i>	188	375	430
<i>Caudal punta horario (m³/h)</i>	450	1125	1020
<i>Caudal mínimo horario (m³/h)</i>	125	250	280
<i>Caudal máximo admisible (m³/h)</i>	889	2692	-
<i>Concentración media DBO₅ (mg/l)</i>	330	1000	260,598
<i>Carga de DBO₅ (kg/día)</i>	1485	9000	2700
<i>Concentración media DQO (mg/l)</i>	650	1500	535,326
<i>Carga de DQO (Kg/día)</i>	2925	13500	5547
<i>Concentración media S.S. (mg/l)</i>	326	1000	274,131
<i>Carga de S.S. (kg/día)</i>	1467	9000	2840
<i>Concentración media NKT (mg/l)</i>	53	40	31,826
<i>Carga de NKT (kg/día)</i>	238	360	330
<i>Concentración media fósforo (mg/l)</i>	14	4,75	8,06
<i>Carga de fósforo (kg/día)</i>	63	42,75	83

Tabla 4 - Capacidad de tratamiento de las líneas existentes frente a la nueva situación de estudio

Realizando un análisis comparativo a partir de la tabla anterior, se llega a las siguientes conclusiones:

- Tanto el caudal como la carga contaminante del agua que se pretende depurar no son suficientes como para poner en marcha las tres líneas.
- A priori, las dos líneas industriales están diseñadas para un caudal medio diario de 9000 m³/día, inferior a los 10361 m³/día que se pretenden depurar. No obstante, dado que las líneas están diseñadas para tratar altas cargas contaminantes, podrán hacer frente a un mayor caudal con un tercio de la carga contaminante de diseño.
- La carga de S.S. así como la carga de DBO₅ del agua a tratar es menos de un tercio de la proyectada en las líneas industriales. Puesto que estas dos cargas determinan la cantidad de lodos que se generan en el proceso de depuración, se evidencia que el reactor anaerobio fue diseñado para un caudal de lodos totalmente alejado de la realidad. Esto confirma que es necesario rediseñar el digestor anaerobio en busca de una mayor eficiencia y rendimiento de explotación.
- La carga de fósforo a tratar es bastante superior a la proyectada en las líneas industriales, No obstante, dado que la reducción de la concentración de fósforo se lleva a cabo por precipitación mediante el vertido de un reactivo al final del reactor biológico, no hay ningún problema a la hora de hacer frente a la nueva situación, pues basta con aumentar el caudal del reactivo para cubrir esta diferencia de carga.

Por tanto, aunque pueda parecer que el nuevo caudal a depurar es superior al que puede circular por las dos líneas industriales, dado que el factor limitante es la carga orgánica del agua, la planta puede acoger sin mayor problema las aguas de la EDAR Vila-real.

5.3. CONCLUSIÓN

Se comprueba que la depuradora de Almassora tiene capacidad suficiente como para afrontar el caudal total resultante de desviar las aguas residuales de la EDAR Vila-real a la de Almassora. No obstante, ni el caudal ni la nueva carga contaminante son suficientemente elevados como para justificar la puesta en marcha de las tres líneas de tratamiento.

Por tanto, a continuación se estudia la viabilidad técnica de acoger las aguas residuales de la EDAR Vila-real únicamente en las dos líneas industriales, junto a la viabilidad técnica de habilitar los tanques de decantación primaria.

6. VIABILIDAD TÉCNICA DE LA PUESTA EN MARCHA DE LA DECANTACIÓN PRIMARIA EN LA EDAR DE ALMASSORA

6.1. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN PRIMARIA DE LAS LINEAS INDUSTRIALES

En base a lo explicado en el punto 3 de los Anexos, las características de cada decantador primario y los parámetros de funcionamiento se muestran en las siguientes tablas:

Características:

<i>Base del decantador (m)</i>	2,00
<i>Calado en la vertical del vertedero (m)</i>	3,50
<i>Altura cónica del fondo (m)</i>	0,50
<i>Altura libre entre la lámina de agua y la coronación (m)</i>	0,50
<i>Diámetro del decantador (m)</i>	14,50
<i>Superficie de decantación (m²)</i>	165,13
<i>Volumen útil (m³)</i>	615,16
<i>Longitud de vertido de agua (m)</i>	45,55

Tabla 5 - Características de los tanques de decantación primaria de las líneas industriales

<i>Parámetros de funcionamiento:</i>	<i>Dimensionado inicial</i>	<i>Nueva situación</i>
<i>Velocidad ascensorial (m/h)</i>	1,14	1,30
<i>Velocidad de vertido (m³/h/m_{lineal})</i>	4,12	4,72
<i>Tiempo de retención (h)</i>	3,28	2,86
<i>Reducción prevista de S.S (kg/día)</i>	7650	1704
<i>Reducción prevista DBO₅ (kg/día)</i>	5400	810
<i>Reducción prevista NKT (kg/día)</i>	36	33

Tabla 6 - Parámetros de funcionamiento de los tanques de decantación primaria de las líneas industriales

Como era de esperar, al tratar con un caudal medio superior a los 9000 m³/día de diseño, las velocidades aumentan y el tiempo de retención disminuye. No obstante, estos valores siguen estando dentro del tiempo de retención mínimo aconsejado de 2 horas.

También se comprueba que la carga orgánica de las aguas a tratar es considerablemente inferior a los valores tomados en su diseño, por lo que los decantadores pueden funcionar correctamente bajo las nuevas condiciones de funcionamiento.

Sin embargo, todavía se ha de comprobar que los microorganismos presentes en los reactores biológicos puedan desempeñar sus funciones con la cantidad de materia orgánica que no se elimina en la decantación primaria y que llega a la entrada del reactor biológico.

6.2. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES

Acorde a lo explicado en el punto 4 de los Anexos, cada reactor biológico consta de tres carriles, un carril para la zona anóxica y dos carriles para la óxica, haciendo un total de 735 m³ de zona anóxica y 1470 m³ de óxica por reactor y sumando un volumen total de 2205 m³.

<i>Características:</i>	<i>Zona anóxica</i>	<i>Zona óxica</i>
<i>Longitud (m)</i>	28,00	28,00
<i>Profundidad (m)</i>	5,00	5,00
<i>Altura libre (m)</i>	0,60	0,60
<i>Anchura (m)</i>	5,25	5,25
<i>Volumen carril (m³)</i>	735	735
<i>Número de carriles</i>	1	2
<i>Volumen total (m³)</i>	735	1470

Tabla 7 - Características de los reactores biológicos de las líneas industriales

En base a la norma A-131 de la ATV (Asociación Alemana para las Técnicas de Tratamiento de Agua Residual), los parámetros de funcionamiento obtenidos para la nueva situación se muestran en la siguiente tabla comparativa junto a los parámetros de funcionamiento de diseño.

<i>Parámetros de funcionamiento:</i>	<i>Dimensionado inicial</i>	<i>Nueva situación</i>
<i>Carga másica (kgDBO₅ / kgST·día)</i>	0,206	0,225
<i>Carga volumétrica (kgDBO₅ / m³·día)</i>	0,62	0,78
<i>Tiempo de retención (h)</i>	11,76	10,26
<i>Edad del lodo (días)</i>	7,7	7,7
<i>Demanda media horaria a 22°C (kgO₂/h)</i>	224	118,12
<i>Demanda punta horaria a 22°C (kgO₂/h)</i>	293	167,11
<i>Cantidad de aire a 22°C (m³_{aire}/día)</i>	6624,36	3778,15

Tabla 8 - Parámetros de funcionamiento de los reactores biológicos de las líneas industriales

La carga másica es la relación entre kg de DBO₅ introducidos por día en una balsa de activación, y los kg de lodos contenidos en dicho reactor biológico. Este parámetro representa la relación existente entre la cantidad de alimento y el contenido de microorganismos. Bajo la nueva situación, se comprueba que este valor está dentro de los márgenes normales de funcionamiento para un proceso de media carga, y se comprueba que es bastante cercano al valor de diseño.

Otro factor a tener en cuenta en el proceso de lodos activos es el aporte del oxígeno que necesitan los microorganismos para reducir la carga orgánica presente en el agua. Se comprueba que la nueva demanda de oxígeno es bastante inferior a los parámetros de diseño, por lo que el sistema de aireación actual es suficientemente capaz de satisfacer la nueva demanda de aire.

Con esto se concluye que los dos tanques de aireación sí que pueden hacer frente a la nueva situación. No obstante, también es necesario verificar que los tanques de decantación secundaria tienen capacidad suficiente para tratar las nuevas aguas residuales.

6.3. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN SECUNDARIA DE LAS LINEAS INDUSTRIALES

En base a lo explicado en el punto 3 de los Anexos, las características de cada decantador primario y los parámetros de funcionamiento se muestran en las siguientes tablas:

Características:

<i>Base del decantador (m)</i>	2,00
<i>Calado en la vertical del vertedero (m)</i>	3,80
<i>Altura cónica del fondo (m)</i>	0,75
<i>Altura libre entre la lámina de agua y la coronación (m)</i>	0,50
<i>Diámetro del decantador (m)</i>	21,00
<i>Superficie de decantación (m²)</i>	346,36
<i>Volumen útil (m³)</i>	1422,40
<i>Longitud de vertido de agua (m)</i>	65,97

Tabla 9 - Características de los tanques de decantación secundaria de las líneas industriales

<i>Parámetros de funcionamiento:</i>	<i>Dimensionado inicial</i>	<i>Nueva situación</i>
<i>Velocidad ascensorial (m/h)</i>	0,541	0,621
<i>Velocidad de vertido (m³/h/m_{lineal})</i>	2,84	3,26
<i>Tiempo de retención (h)</i>	7,59	6,62

Tabla 10 - Parámetros de funcionamiento de los tanques de decantación secundaria de las líneas industriales

Como era de esperar, al tratar con un caudal medio superior a los 9000 m³/día de diseño, las velocidades aumentan y el tiempo de retención disminuye. No obstante, estos valores siguen estando dentro del tiempo de retención mínimo aconsejado de 2 horas.

6.4. CONCLUSIÓN

Dado que las líneas industriales fueron dimensionadas para hacer frente a aguas residuales industriales de alta carga contaminante, los parámetros de funcionamiento para la nueva situación siguen estando dentro del rango de valores que la normativa y la buena praxis establece.

Además, se comprueba que se puede habilitar el tratamiento de decantación primaria sin repercutir en el proceso de lodos activos que llevan a cabo los microorganismos en el reactor biológico.

7. ESTIMACIÓN DEL BIOGÁS PRODUCIDO

La producción de biogás vendrá determinada por la biometanización del conjunto resultante de la mezcla del lodo producido en el proceso de depuración junto a residuos orgánicos biodegradables (ROB).

El ratio de producción de biogás en la co-digestión de lodos y ROB ha sido ampliamente estudiado y publicado en artículos científicos, demostrando ser mayor que el obtenido para la digestión de lodos como único sustrato.

<i>Sustrato</i>	<i>CH₄ (L/gSV)</i>	<i>Referencia</i>
<i>Lodos</i>	0,116	(Kim et al., 2003)
<i>Lodos (50% SV) + ROB (50% SV)</i>	0,215	(Kim et al., 2003)
<i>Lodos</i>	0,318	(Sosnowski et al., 2008)
<i>ROB</i>	0,234	(Sosnowski et al., 2008)
<i>Lodos (75% MS) + ROB (25% MS)</i>	0,439	(Sosnowski et al., 2008)
<i>Lodos</i>	0,269	(la Cour Jansen et al., 2004)
<i>ROB</i>	0,395	(la Cour Jansen et al., 2004)
<i>Lodos (80% SV) + ROB (20% SV)</i>	0,326	(la Cour Jansen et al., 2004)

Tabla 11 - Ratios de producción de CH₄ en la digestión mesofílica de lodos, ROB y lodos-ROB

Como puede observarse, los valores de producción de metano son muy dispares, debido principalmente a las diferencias en la composición del residuo orgánico biodegradable, ya que, según el porcentaje de proteínas, lípidos y carbohidratos, el proceso de biometanización se ve más o menos favorecido. Del mismo modo, según la procedencia de los lodos, se obtiene un ratio de producción de CH₄ distinto.

En el presente proyecto, con el objetivo de reflejar esta variación en la composición de los ROB, los cálculos se han realizado considerando tres posibles ratios de producción de CH₄: 0,32 L/gSV como el más conservador, 0,38 L/gSV y finalmente 0,44 L/gSV para el caso más favorable. La proporción de mezcla será en base a la materia seca, con un 75% de lodos y un 25% de ROB (Sosnowski et al., 2008).

7.1. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE LODO PRODUCIDO EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN

En base a lo explicado en el punto 6 de los Anexos, la cantidad de lodo producido depende fundamentalmente de la reducción de sólidos suspendidos en la decantación primaria y de la carga de DBO₅ existente a la entrada del reactor biológico. El caudal vendrá determinado por su contenido en humedad y su densidad.

Los lodos procedentes de la decantación suelen tener una humedad entorno al 98,5%. Tras su paso por el pre-espesador, la humedad se llega a reducir hasta el 95%, disminuyéndose considerablemente el volumen ocupado por los lodos y, por tanto, el caudal que llega a la entrada del digestor anaerobio.

Lodos tras la decantación:

<i>Carga S.S. dec 1ª (kg/día)</i>	1704
<i>Carga S.S. dec 2ª (kg/día)</i>	1247,5
<i>Humedad (%)</i>	98,5
<i>Densidad (kg/m³)</i>	1015
<i>Caudal lodos 1ª (m³/día)</i>	111,94
<i>Caudal lodos 2ª (m³/día)</i>	81,96
<i>Caudal lodos sin espesar (m³/día)</i>	193,88

Tabla 12 - Características de los lodos tras la decantación

Lodos tras el pre-espesador:

<i>Humedad (%)</i>	95
<i>Densidad (kg/m³)</i>	1050
<i>Caudal lodos pre-espesados (m³/día)</i>	56,22

Tabla 13 - Características de los lodos tras el pre-espesador

7.2. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD NECESARIA DE RESIDUO ORGÁNICO BIODEGRADABLE A CO-DIGERIR

La cantidad de ROB a digerir dependerá de la cantidad de lodos que se generen en la EDAR, de tal manera que se consiga una proporción en peso seco del 75% lodos y 25% ROB.

A partir de lo explicado en el punto 7 de los Anexos, se confecciona la siguiente tabla:

Peso seco:

<i>Lodos (kg/día)</i>	2951,5
<i>ROB (kg/día)</i>	984
<i>Total (kg/día)</i>	3935,5

Tabla 14 - Peso seco de cada sustrato

Puesto que la sequedad del ROB se ha determinado experimentalmente en 21%, la cantidad total de ROB a introducir en el digestor diariamente es de 4685,7 kg, es decir, unas 5 toneladas diarias de residuo orgánico.

7.3. DISPONIBILIDAD DE RESIDUO ORGÁNICO BIODEGRADABLE COMO CO-SUSTRATO

Según el Instituto Nacional de Estadística, la producción media de residuos urbanos por habitante es de 467,6 kg/año (INE 2013), lo que se traduce en una cantidad de 1,28 kg/día/hab. Considerando únicamente la población de Almassora, estimada en 25500 habitantes (INE 2014), se obtiene que la generación de residuos urbanos en el municipio de Almassora es de 32640 kg/día.

La composición de todos los residuos urbanos varía en función de tres factores, que son el nivel de vida de la población, la actividad desarrollada por esta y la climatología propia de la región. Dependiendo de estos factores, se consumirán y se emplearán determinados productos que a la postre producirán los correspondientes residuos.

Según el Plan Nacional de Residuos Urbanos (PNRU) 2000 - 2006, la producción media en España de los distintos componentes de los residuos urbanos es la mostrada en el siguiente diagrama:

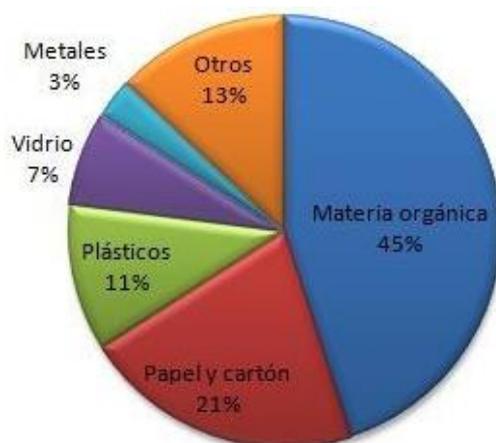


Ilustración 12 - Composición media de los residuos urbanos en España

Por tanto, se tiene que la cantidad de materia orgánica generada diariamente en el municipio de Almassora es de 14688 kg. Teniendo en cuenta que la planta de reciclaje y compostaje de RECIPLASA, situada en Onda, trata los residuos urbanos de otros 7 municipios, se tiene que la cantidad total de residuo orgánico generado diariamente está muy por encima de la cantidad diaria necesaria a co-digerir. Por tanto, no supone ningún problema la adquisición diaria de 4685,7 kg de ROB para su co-digestión junto a lodos de depuradora.

7.4. SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES Y ESTIMACIÓN DE BIOGÁS PRODUCIDO

Dado que los ratios de producción de metano (CH_4) están expresados en función de los kg de sólidos volátiles, para estimar la cantidad de biogás producido es necesario conocer la fracción volátil de cada sustrato que se va a co-digerir.

A la hora de determinar la fracción volátil de los lodos, se han tomado los valores típicos de diseño de 0,6 para la carga obtenida en la decantación primaria, y 0,8 para la decantación secundaria. La fracción volátil del ROB se determinó de forma experimental en un laboratorio, obteniendo un valor medio de 0,77.

Fracciones volátiles:

Lodos dec 1ª	0,60
Lodos dec 2ª	0,80
ROB	0,77

Tabla 15 - Fracción volátil de cada sustrato

Por tanto, a partir de la carga de S.S. de cada decantador y del peso seco de ROB, se obtiene la cantidad de sólidos volátiles:

Sólidos Volátiles:

SV Fangos dec 1ª (kg/día)	1022,4
SV Fangos dec 2ª (kg/día)	998
SV ROB (kg/día)	759,4
SV Totales (kg/día)	2779,8

Tabla 16 - Sólidos volátiles de cada sustrato

Finalmente, suponiendo que el CH_4 supone el 50% del biogás producido, el biogás obtenido para los distintos ratios de producción de metano es:

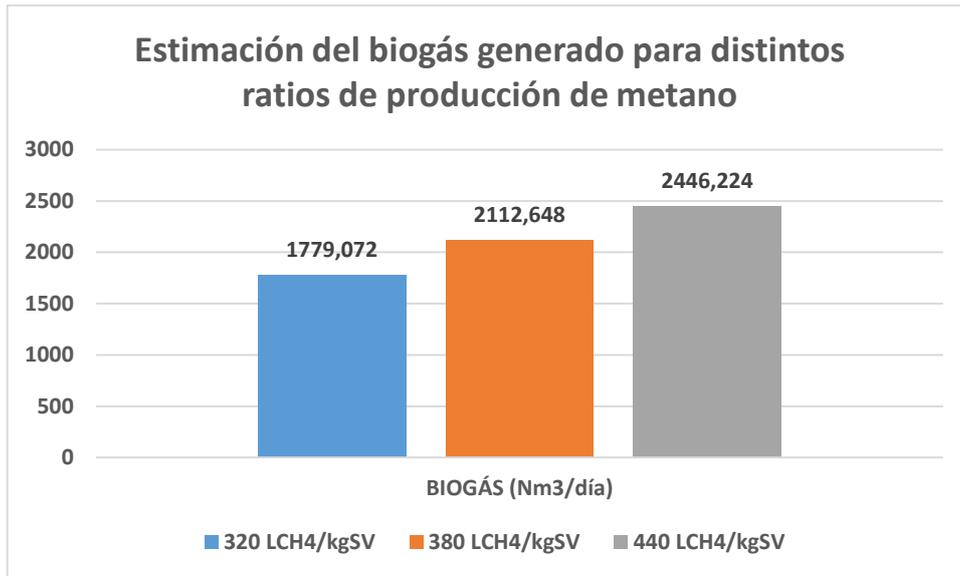


Ilustración 13 - Biogás generado para distintos ratios de producción de CH₄

Se observa que se obtienen unos valores de generación de biogás muy aceptables incluso para el ratio más conservador de 320 LCH₄/kgSV.

Más adelante, tras el diseño del digester anaerobio, se estudiará si estos volúmenes de biogás son suficientes como para, por un lado, mantener el digester en un rango de temperaturas mesolítico (30-40 °C), y por otro lado, obtener un excedente de biogás, de modo que se pudiese implantar un sistema de cogeneración para generar simultáneamente energía térmica y eléctrica.



Ilustración 14 - Sistema de cogeneración. Obtención simultánea de energía térmica y eléctrica.

8. DISEÑO DEL DIGESTOR ANAEROBIO

Una vez los fangos se concentren en el espesador, estos pasarán al digestor anaerobio. El digestor trabajará en continuo, de construcción vertical y de mezcla completa gracias a un sistema de agitación mecánica mediante agitadores horizontales de montaje lateral.

La digestión se realizará con un pH entre 6,2 y 8,3 y una temperatura mesofílica (entre 25 y 45°C), concretamente a 35°C, ya que aunque el rango termofílico (entre 45°C y 65°C) incrementa la solubilización de la materia orgánica en suspensión y la producción de ácidos grasos volátiles, tiene ciertas desventajas como el alto requerimiento energético, el tiempo necesario para el establecimiento de la población bacteriana y la mayor sensibilidad a variaciones de temperatura.

El digestor contará con dos entradas para los dos tipos de sustratos a co-digerir, y con tres salidas, una para el sustrato digerido, otra para la recirculación y calefacción del sustrato y una tercera para el biogás producido (Ilustración 48).

8.1. DIMENSIONADO

El digestor se divide en tres zonas: zona de la solera, zona de la digestión en la que se incluye una zona de resguardo, y zona de la cúpula (Ilustración 15). Para el dimensionamiento de cada una de las zonas se parte del cálculo del volumen necesario, que será la carga diaria con la que se alimenta el digestor por el tiempo de retención hidráulico, el cual se ha determinado en 18 días en base a las curvas de generación de biogás observadas en el ensayo de cogeneración de lodos y ROB dirigido por Sosnowski en su artículo *Kinetic investigations of methane co-fermentation of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes* (Sosnowski et al., 2008).

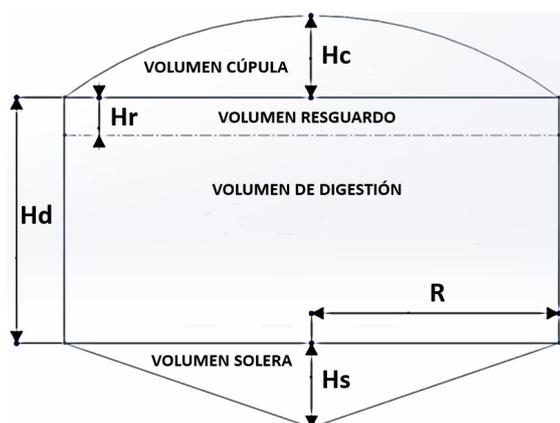


Ilustración 15 - Esquema del digestor anaerobio monoetapa

A partir de este volumen, se han definido las dimensiones del digestor en base a otros digestores. Se tendrá una parte central cilíndrica, de radio y altura de 7,3 m, incluyendo 0,5 m de zona de resguardo; una parte inferior, la solera, con forma similar a un cono invertido, de altura 1,24 m; y una cúpula superior con forma de casquete esférico de 1 m de altura.

La base del cilindro estará enterrada 0,5 m bajo tierra, de modo que solo serán visibles 6'8 m de pared. La solera estará bajo suelo, construida con una capa de hormigón armado de 0,65 m, una capa de hormigón de limpieza de 0,1 m y una capa de panel rígido de poliestireno extruido de 3mm.

Las paredes del digestor estarán formadas por una capa de hormigón armado de 0,44 m en el interior, seguidos de una capa aislante de lana de vidrio de 60mm y recubiertos en el exterior por unas chapas.

La cúpula estará formada por un panel sándwich con aislante de poliuretano de 0,06 m de espesor, cuya función es la de aislar térmicamente el digestor y protegerlo de las condiciones climatológicas.

En total se tendrá un digestor anaerobio con una capacidad volumétrica de 1382,27 m³ para hacer frente al volumen promedio calculado de 1117,44 m³.

8.2. REGULACIÓN DEL PH

Durante el proceso de digestión anaerobia, es importante mantener el pH cercano a la neutralidad, de lo contrario el proceso puede volverse inestable inhibiéndose la producción de biogás.

En la experiencia llevada a cabo por Sosnowski en su artículo *Kinetic investigations of methane co-fermentation of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes* (Sosnowski et al., 2008), se determina que en la co-digestión de lodos y ROB no es necesario interferir en la evolución que toma el pH en el proceso de fermentación ya que, al contrario que en la digestión de ROB como único sustrato, en la co-digestión la acumulación de ácidos grasos volátiles (VFA) no provoca cambios significantes en el pH.

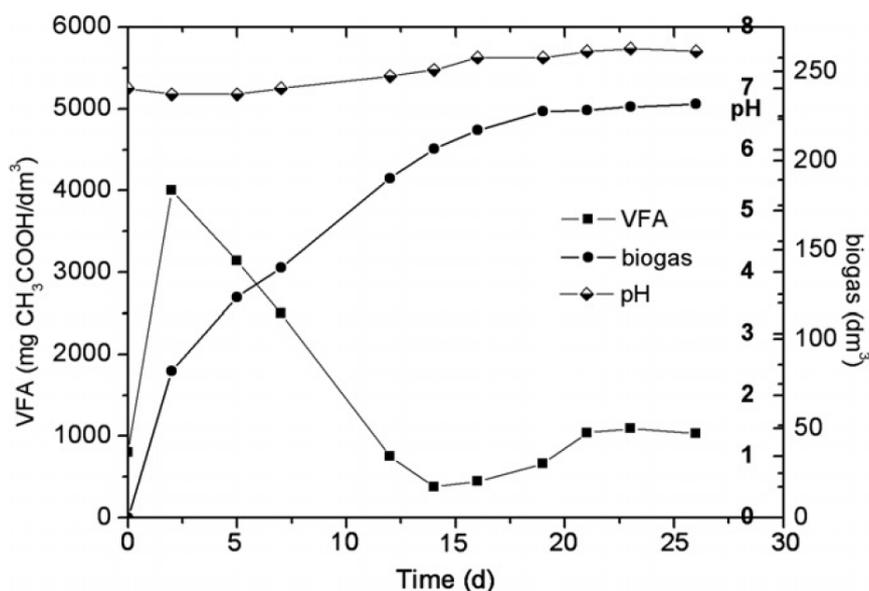


Ilustración 16 - pH, producción de biogás y concentración de VFA en el proceso de co-digestión de lodos y ROB en una proporción 75:25 respectivamente en materia seca

Por tanto, se determina que no es necesario instalar ningún sistema de regulación de pH en el digestor.

8.3. SISTEMA DE AGITACIÓN

La instalación de agitadores en un digestor es importante y necesaria debido a las siguientes razones:

- Mezclar la biomasa fresca con la biomasa digerida existente en el interior del digestor.
- Obtener una densidad uniforme de la población bacteriana.
- Prevenir la formación de costras y de espumas en la superficie del digestor.
- Reducir la formación de sedimentos en el fondo del digestor.
- Evitar la formación de espacios muertos sin actividad.
- Propiciar que las burbujas de biogás suban a la superficie del sustrato.
- Obtener una mejor degradación de la biomasa y por ende una mayor producción de biogás.

A continuación, se muestran los principales sistemas de agitación en digestores, entre los que se ha seleccionado para este proyecto el sistema de agitación mecánica, por motivos que se explican más adelante.

- Sistema DYNOMIX: consiste en mezclar el sustrato contenido en el digestor mediante la recirculación del mismo.
- Sistema de lanzas: consiste en mezclar el sustrato mediante la inyección, en el digestor, de una parte del biogás producido.
- Sistema de agitación mecánica: consiste en mezclar el sustrato contenido en el digestor mediante uno o varios agitadores mecánicos.

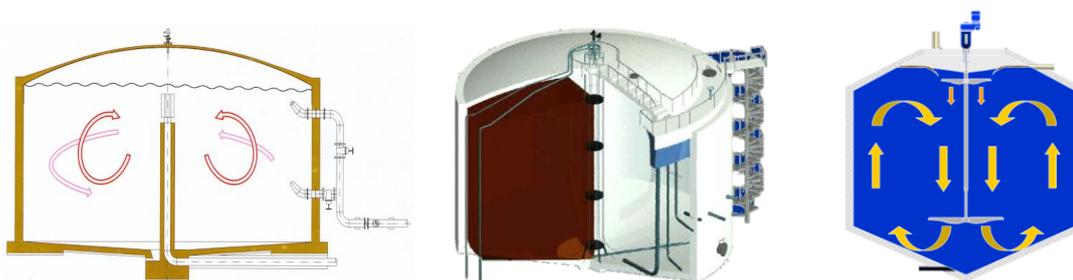


Ilustración 17 - De izquierda a derecha: Sistema DYNOMIX, sistema de lanzas y sistema de agitación mecánica

De estos sistemas, el que presenta mayor ventaja constructiva, mayor flexibilidad y es capaz de adaptarse a digestores de distinto tamaño y configuración, es el sistema de agitación mecánica. Éste no necesita de una construcción auxiliar para resguardar elementos del sistema, y dado que existen infinidad de agitadores de distintas potencias y combinaciones, puede implementarse en digestores de cualquier volumen y diseño. Además, este sistema presenta un ratio de consumo de entre 1 y 3 W/m³, considerablemente inferior a los 8 W/m³ que alcanzan los otros dos sistemas descritos.

Sin embargo, en cuanto al mantenimiento, este sistema contiene partes móviles dentro del digestor, con lo que la sustitución de alguno de los elementos del sistema puede perjudicar la digestión durante la reparación.

Los agitadores mecánicos están constituidos por un motor, que deberá de cumplir con la normativa ATEX que regula equipos instalados en atmósferas explosivas, el árbol, acoplado al motor, y las hélices. La instalación puede realizarse de diversas formas: un único agitador vertical suspendido de la cúpula, agitador vertical instalado en la solera, o varios agitadores horizontales

de montaje lateral. Con el propósito de que la cúpula no tenga que soportar el peso de un agitador mecánico, a continuación, se propone diseñar el sistema de agitación mediante agitadores horizontales de montaje lateral.

Para conseguir la agitación completa del digestor se necesitarán dos agitadores horizontales de montaje lateral, situados en extremos opuestos de la pared cilíndrica del digestor y orientados de forma perpendicular a la pared y contraria entre ellos, de modo que, compenetrando su movimiento, se conseguirá generar una corriente constante del sustrato proporcionando así una agitación total del digestor, sin necesidad de instalar bombas auxiliares ni tuberías.

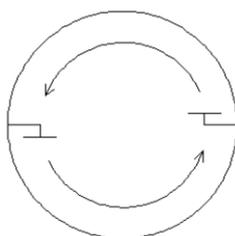


Ilustración 18 - Agitación del digestor con dos agitadores horizontales de montaje lateral (Vista en planta)

Dichos agitadores se instalarán a una altura de 3 m sobre el nivel del suelo, para asegurar la agitación del sustrato en fase de digestión, ya que esta tiene lugar aproximadamente a mitad altura del nivel existente en el interior del digestor. Ambos agitadores serán idénticos y deberán poseer los datos técnicos que se especifican en el Pliego de Condiciones Técnicas.



Ilustración 19 - Agitador horizontal de montaje lateral



Ilustración 20 - Instalación en un digestor de un agitador de montaje lateral

8.4. SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

Para el óptimo funcionamiento del digestor anaerobio hay que controlar y monitorizar ciertos parámetros que indican si el digestor está operando en rangos óptimos. Como mínimo, se deben monitorizar los siguientes parámetros:

- Temperatura.
- pH.
- Producción y calidad del biogás.

Para ello se instala un sistema de automatización controlado desde un ordenador. La idea de automatizar el proceso es poder controlar las diferentes opciones del sistema desde un mismo punto y no tener que cambiar los diferentes componentes manualmente.

Los sistemas que se automatizarán son:

- Caudalímetro.
- Termostatos y sondas de temperatura.
- pH-metro.
- Analizador de biogás.
- Bombas.

Dependiendo del sistema que se quiera usar, habrá diferentes válvulas de compuerta abiertas o cerradas, pero por lo que respecta a los controladores del sistema su funcionamiento será siempre el mismo.

A continuación, se explica el funcionamiento teórico de cada uno de estos componentes.

8.4.1 CAUDALÍMETRO

Se colocará un caudalímetro en cada una de las tuberías que entren o salgan del digestor, tanto de la línea principal como del sistema de calefacción, con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del conjunto.

Si en alguna tubería por la que no debiera pasar caudal se obtuviese una lectura del caudalímetro, se tendría que la válvula de compuerta correspondiente está fallando por alguna razón. Adicionalmente, cuando sí que tenga que pasar sustrato a través de las tuberías, se podrá comprobar que los niveles de caudal que fluyen son los correctos.

8.4.2 TERMOSTATOS Y SONDAS DE TEMPERATURA

Para el control de la temperatura, se deben instalar varios sensores en el interior del digestor. Los sensores deberán ubicarse estratégicamente, de tal forma que se obtengan mediciones representativas del sustrato. Las especificaciones de los sensores deberán ser para aguas agresivas. Los sensores deberán estar siempre sumergidos en el sustrato. Estos transmitirán sus datos al sistema y éste deberá dar señal de alarma si la temperatura fuera superior o inferior a la estimada.

Además, habrá que colocar termostatos a la entrada y salida del intercambiador para controlar el funcionamiento del sistema de calefacción.

8.4.3 pH-METRO

Para supervisar el pH resultante de la mezcla lodos-ROB en el interior del digestor se colocarán dos sondas de pH. Cuando el pH esté fuera del rango de 6,2 y 8,3, saltará una alarma. Como ya se explicó en el punto 8.2 de la memoria, en un principio no es necesario instalar ningún sistema de regulación de pH ya que no es necesario interferir en el proceso natural de digestión lodo-ROB, por lo que se espera que en todo momento el pH se mantenga dentro del rango mencionado.

8.4.4 ANALIZADOR DE BIOGÁS

La composición del biogás es muy importante, ya que este biogás se utilizará como combustible. Por ello, se situará un analizador de biogás a la salida del digestor para saber su composición y por consiguiente su calidad. En el caso que los niveles de metano no fueran los mínimos requeridos, saltaría una alarma.

8.4.5 BOMBAS

Las bombas funcionarán cuando la válvula previa a ellas este abierta y el fluido necesite presión para llegar a su destino, si no, permanecerán paradas.

9. POTENCIA TÉRMICA NECESARIA PARA CALEFACTAR EL DIGESTOR

El digestor, como ya se ha comentado anteriormente, trabajara en régimen mesofílico, es decir, entre 25 °C y 45 °C, concretamente a 35 °C, ya que aunque el rango termofílico, entre 45 °C y 65 °C, incrementa la solubilización de la materia orgánica en suspensión y la producción de ácidos grasos volátiles, tiene ciertas desventajas como el alto requerimiento energético, el tiempo necesario para el establecimiento de la población bacteriana y la mayor sensibilidad a variaciones de temperatura.

Los cálculos detallados quedan definidos en el punto 9 de los Anexos.

9.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS A TRAVÉS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Al existir una diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del digestor, se produce un intercambio de energía interna, generándose una transferencia de calor a través de los elementos constructivos. Para el cálculo de dichas pérdidas se ha calculado el coeficiente global de transferencia de calor, o transmitancia térmica, y, a partir de ella, la potencia térmica perdida. Para ello se ha utilizado el código técnico de edificación CTE_DB-HE Ahorro de energía, así como sus distintos documentos de apoyo.

Las pérdidas a través de los elementos constructivos del digestor será la suma de las pérdidas a través de la solera, del muro vertical enterrado, del muro vertical desnudo y de la cúpula. Para cada uno de los citados elementos constructivos se ha tenido en cuenta su composición física así como el espesor y conductividad de las distintas capas y materiales que lo componen.

La potencia disipada al exterior va a depender fundamentalmente de la velocidad y de la temperatura del aire exterior así como de la temperatura y conductividad del terreno. Por tanto, se tendrán unas pérdidas distintas en cada época del año.

Las tablas siguientes muestran el desglose de las pérdidas que se tiene en el digestor para las distintas épocas del año. La velocidad del viento se ha considerado constante e igual al valor promedio de las velocidades medias diarias ofrecidas por la estación meteorológica de Almazora desde 1976 hasta 2012.

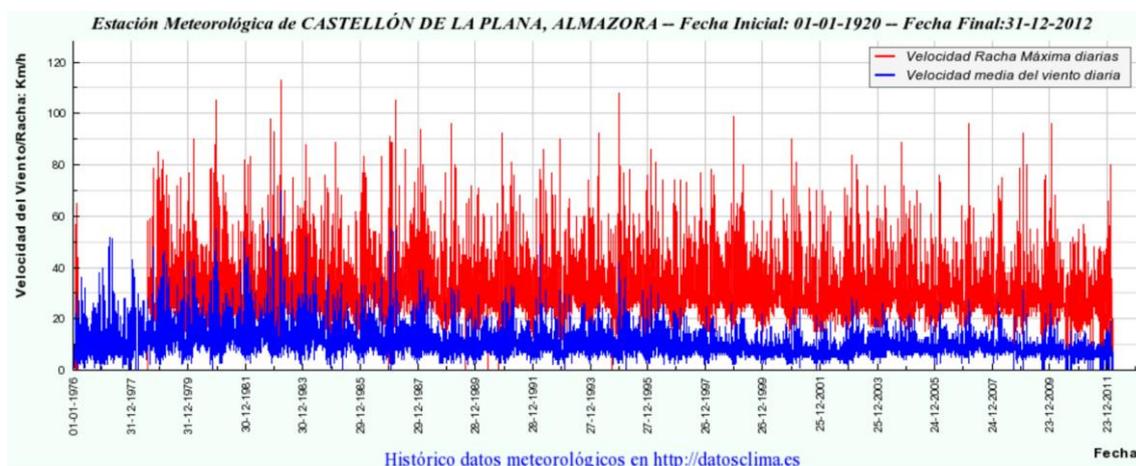


Ilustración 21 - Representación gráfica del histórico de vientos en el municipio de Almassora desde 1976 hasta 2012

Velocidad viento = 2,9 m/s ; Invierno ($T_{EXT} = 6^{\circ}C$)

Pérdidas a través de la Solera, q_s	1421,34 W
Pérdidas a través del muro vertical enterrado, q_{me}	41,03 W
Pérdidas a través del muro vertical, q_m	4837,6 W
Pérdidas a través de la cúpula, q_c	2027,48 W
Pérdida total del digestor anaerobio, $q_{PERD_DIGESTOR}$	8285,89 W

Tabla 17 - Potencias térmicas disipadas en el digestor en invierno

Velocidad viento = 2,9 m/s ; Primavera/Otoño ($T_{EXT} = 14^{\circ}C$)

Pérdidas a través de la Solera, q_s	1105,49 W
Pérdidas a través del muro vertical enterrado, q_{me}	31,91 W
Pérdidas a través del muro vertical, q_m	3474,34 W
Pérdidas a través de la cúpula, q_c	1468,18 W
Pérdida total del digestor anaerobio, $q_{PERD_DIGESTOR}$	6079,91 W

Tabla 18 - Potencias térmicas disipadas en el digestor en primavera/otoño

Velocidad viento = 2,9 m/s ; Verano ($T_{EXT} = 22^{\circ}C$)

Pérdidas a través de la Solera, q_s	789,63 W
Pérdidas a través del muro vertical enterrado, q_{me}	22,79 W
Pérdidas a través del muro vertical, q_m	2151,64 W
Pérdidas a través de la cúpula, q_c	908,87 W
Pérdida total del digestor anaerobio, $q_{PERD_DIGESTOR}$	3872,94 W

Tabla 19 - Potencias térmicas disipadas en el digestor en verano

Como era de esperar, cuando la temperatura ambiente es mayor, el intercambio de calor existente entre el digestor y el exterior disminuye, llegando a reducirse más de la mitad, desde los 8,3 kW calculados para el peor de los casos hasta los 3,9 kW.

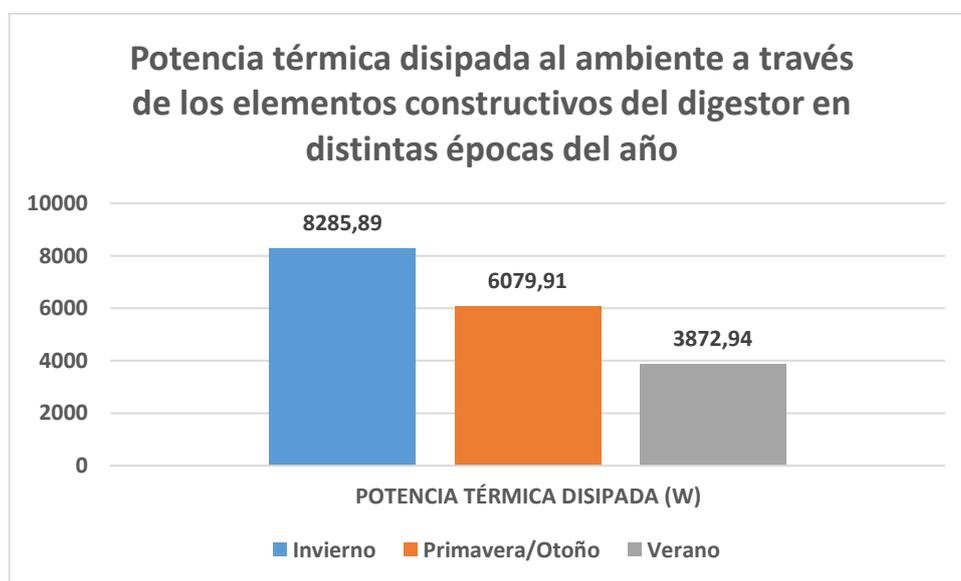


Ilustración 22 - Representación gráfica de la potencia térmica disipada por el digestor en distintas épocas del año

9.2. CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA TOTAL PARA ABASTECER LAS NECESIDADES TÉRMICAS DEL DIGESTOR

El sustrato calentado en la digestión corresponde a la mezcla de los lodos provenientes del pre-espesador y del ROB empleado como co-sustrato.

Con el fin de compensar la potencia térmica disipada a través de los elementos constructivos del digestor, es necesario calentar el sustrato por encima de los 35 °C a los que se desea realizar el proceso de digestión. Considerando además que las pérdidas a través de las tuberías son un 10% de las pérdidas a través del digestor, se obtiene que el sustrato ha de calentarse 3 °C por encima del valor de consigna, es decir, a una temperatura de 38 °C.

Suponiendo que, para el caso más desfavorable, la temperatura inicial del sustrato antes de entrar al digestor es de 9 °C, se tiene que la potencia térmica necesaria para calentar el sustrato, y con él calefactar el digestor, es de 90 kW.

Repitiendo el proceso con otras condiciones de contorno, se obtienen las demandas térmicas necesarias en cada época del año para abastecer las necesidades térmicas del digestor:

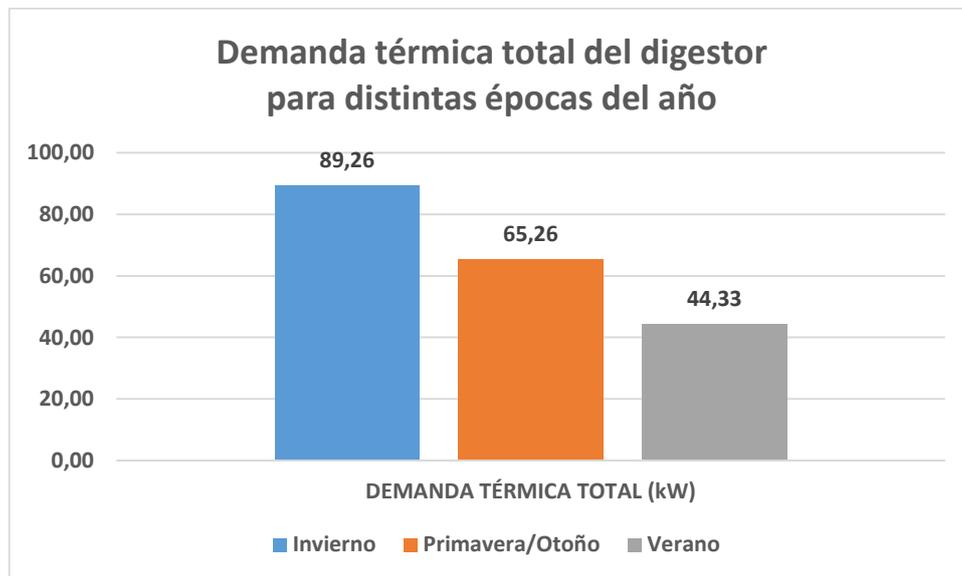


Ilustración 23 - Representación gráfica de la demanda térmica del digestor en distintas épocas del año

10. VIABILIDAD DE GENERAR EXCEDENTE DE BIOGÁS

Una vez conocida la demanda térmica del digestor, que para el caso más desfavorable se estimó en 90 kW, se procede a estudiar si del biogás producido en el proceso de co-digestión lodo-ROB puede obtenerse suficiente energía como para, por un lado, abastecer esa demanda térmica del digestor y, por otro lado, obtener otro tipo de energía útil, como por ejemplo energía eléctrica.

En el apartado 7 se determinó que el biogás generado, con un contenido en metano del 50 % en volumen, estaba comprendido entre 1800 Nm³/día para el ratio de producción más conservador, y 2450 Nm³/día para el más optimista. Conociendo que el PCI (poder calorífico inferior) del metano es de 35880 kJ/Nm³CH₄, se tiene que la potencia térmica bruta extraíble del biogás es, para el peor de los casos, de 370 kW.

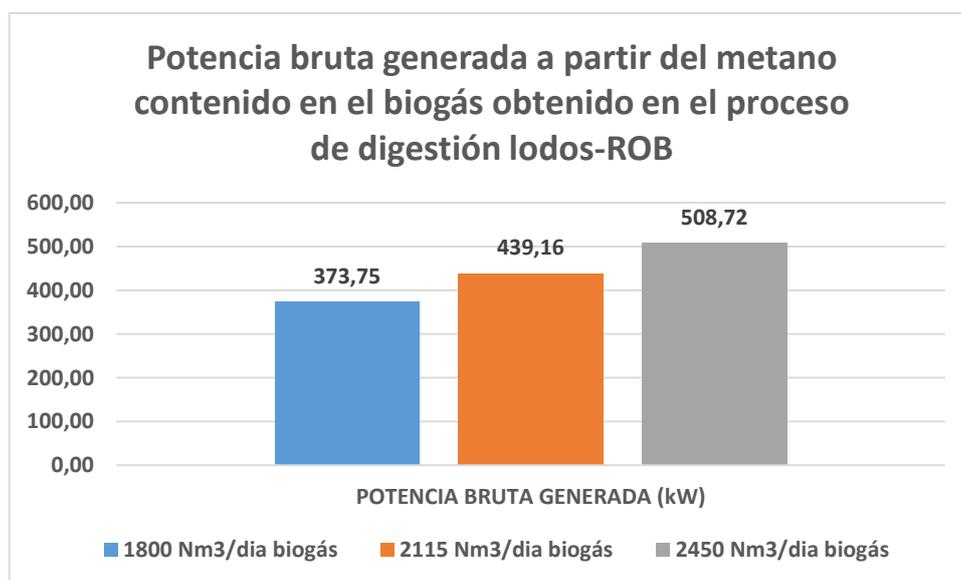


Ilustración 24 - Representación gráfica de la potencia bruta generada para distintos ratios de producción de biogás

Por tanto, incluso considerando que únicamente el 80% de la energía bruta puede ser empleada para realizar un trabajo útil, para el caso más desfavorable de 1800 Nm³/día de biogás, se tiene que la demanda térmica del digestor únicamente supone el 30% de la energía neta disponible. Esto significa que, para el caso más conservador, todavía se dispondría de 206 kW de potencia para, por ejemplo, realizar un trabajo de rotación sobre el eje de un alternador y generar energía eléctrica, bien de autoconsumo o bien para inyectar a red.

De todo lo anterior se concluye que se tiene un exceso de biogás suficiente como para implantar un sistema de aprovechamiento de biogás que genere simultáneamente energía para calefactar el digestor y otro tipo de energía que sea útil y aprovechable por la depuradora. La alternativa que a continuación se propone es la cogeneración, con la idea de generar simultáneamente energía térmica y eléctrica.

11. APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

El objetivo de un proyecto de aprovechamiento energético del biogás es convertirlo en una forma de energía útil, como la electricidad, el vapor, el calor, combustible para vehículos, etc. Los sistemas más extendidos en la actualidad son:

- Inyección a la red de gas natural tras un tratamiento previo.
- Uso directo del biogás como fuente de calor.
- Producción simultánea de energía eléctrica y térmica por medio de un sistema de cogeneración.

La inyección de biogás a la red de gas natural consiste en limpiar el biogás y purificarlo hasta conseguir la calidad suficiente como para ser inyectado directamente en una tubería de gas natural. Esta tecnología requiere de un proceso de tratamiento del gas potencialmente costoso, y el caudal mínimo necesario para llevarlo a cabo es de 1000 Nm³/h. Dado que la producción más optimista de biogás en el presente proyecto es de 100 Nm³/h, esta alternativa queda descartada.

El uso directo del biogás para generar calor puede ser una opción muy rentable cuando la planta se realiza en una empresa que utiliza calderas o equipos de calefacción donde se podría utilizar biogás como combustible. Como no es el caso de la EDAR de Almassora, esta opción queda descartada.

Por lo tanto, en este proyecto se optará por estudiar la alternativa de la cogeneración, generando simultáneamente energía térmica y eléctrica. Los sistemas de cogeneración generalmente se debaten entre la inyección a red de la energía eléctrica o el autoconsumo. En el presente proyecto se optará por el autoconsumo ya que es la opción que mejor se adapta al tamaño del proyecto.

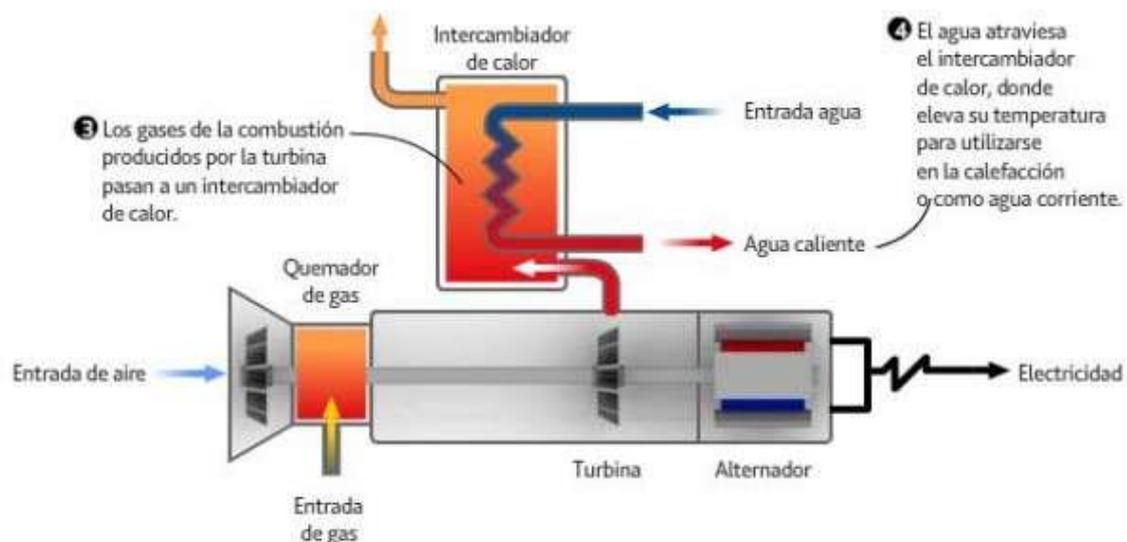


Ilustración 25 - Esquema de cogeneración

11.1. COGENERACIÓN DE AUTOCONSUMO COMO MÉTODO DE APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

En un sistema de cogeneración de una EDAR, el biogás se emplea localmente para generar electricidad y calor útil. La electricidad puede, o bien emplearse en la propia planta, o bien inyectarse a red, mientras que el calor se aprovecha generalmente en el propio proceso de producción del biogás. En conjunto se obtiene una producción energética de entidad apreciable y de elevado valor a un coste muy reducido, lo que reporta ingresos directos y proporciona autonomía y seguridad frente a la evolución de los precios de la energía.

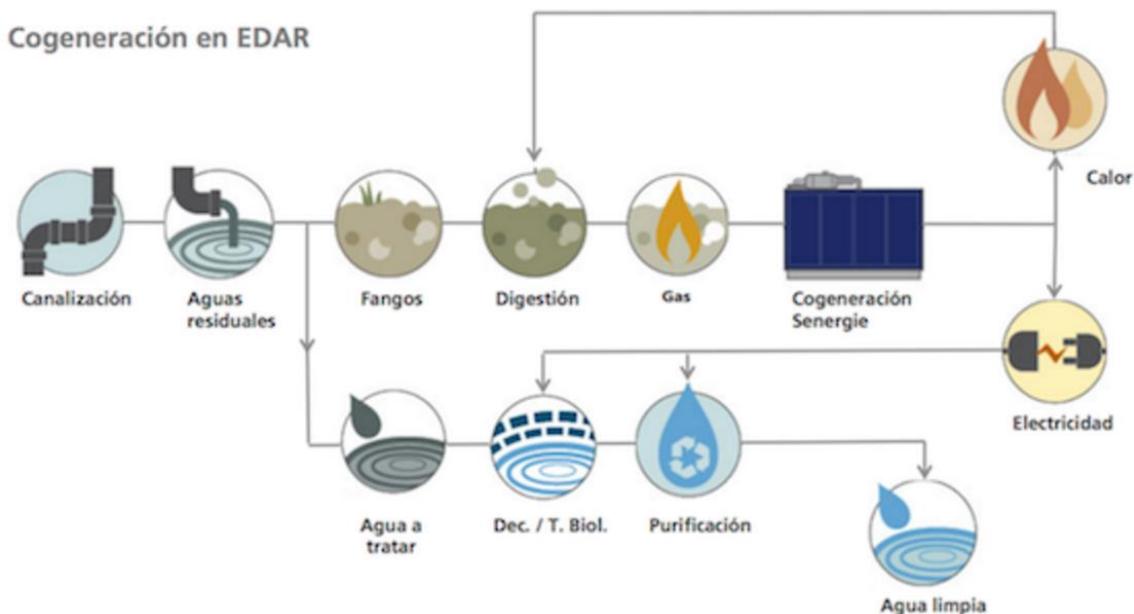


Ilustración 26 - Esquema del sistema de cogeneración implementado en una EDAR

Los sistemas de cogeneración presentan rendimientos globales del orden del 85-90%, lo que implica que el aprovechamiento simultáneo de electricidad y calor favorezca la obtención de elevados índices de ahorro energético.

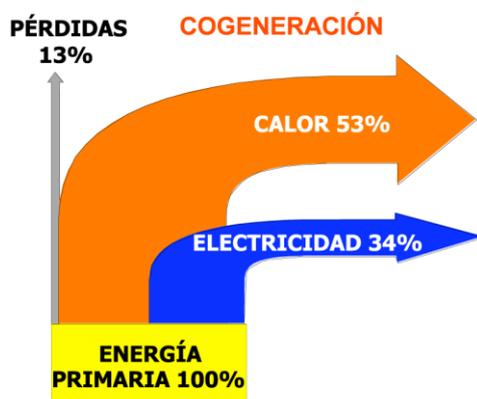


Ilustración 27 - Balance de energía de un sistema de cogeneración

La mayoría de los proyectos de aprovechamiento energético de biogás que generan electricidad, lo hacen utilizando motores de combustión interna alternativos (MCIA). No obstante, también existen otras tecnologías como las turbinas de gas o las microturbinas. Todas estas tecnologías convierten la energía química contenida en un producto combustible en energía eléctrica y térmica, pero lo hacen de forma distinta:

- El principio de funcionamiento de un motor alternativo está basado en conseguir mediante los movimientos lineales y alternativos de los pistones el movimiento de giro de un eje. La energía eléctrica se obtiene mediante un alternador acoplado directamente al eje del motor, mientras que la energía térmica se obtiene en forma de gases de escape y agua caliente de los circuitos de refrigeración.
- Las turbinas de gas y las microturbinas siguen el ciclo de Brayton. El aire es aspirado de la atmósfera y comprimido mediante el compresor rotativo para conducirse a la cámara de combustión donde los productos de la combustión se expansionan a la turbina hasta la presión atmosférica. La energía eléctrica se obtiene a partir de un alternador acoplado, directamente o mediante un reductor, al eje de la turbina que aprovecha el trabajo neto del ciclo.

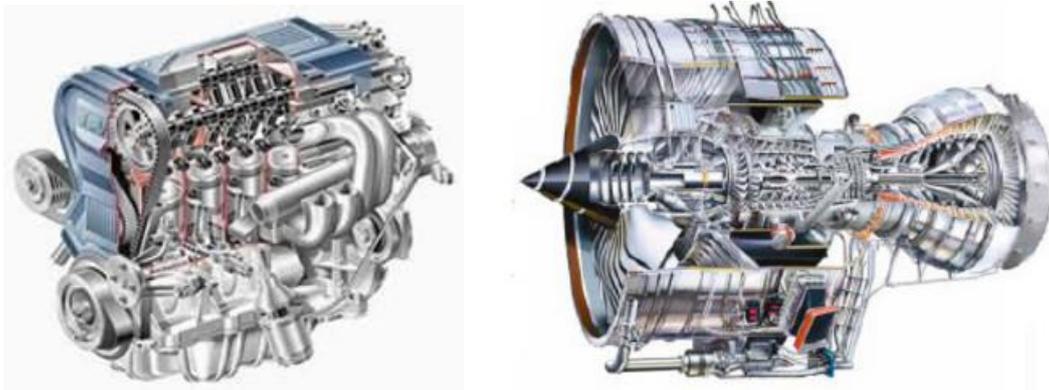


Ilustración 28 - Motor de combustión interna alternativo (izquierda) y turbina de gas (derecha)

Los criterios que se van a seguir para seleccionar la tecnología de generación eléctrica que mejor se adapte al proyecto son:

- Caudal de biogás disponible: entre 75 y 100 Nm³/h.
- Posibilidad de añadir y eliminar unidades para seguir la tendencia de la curva de gas.
- Bajos costes de mantenimiento y de operación.
- Elevada eficiencia.
- Flexibilidad en cuanto al porcentaje de metano que ha de estar presente en el combustible.
- Instalación relativamente sencilla.

Para decidir cuál es el sistema que mejor se adapta a estas condiciones, se realiza una tabla resumen de las ventajas y desventajas de las tres tecnologías de generación eléctrica con biogás (Tabla 18).

TECNOLOGÍA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	CAUDAL DE BIOGÁS NECESARIO
MCIA Tamaño: 0,6 – 3 MW por motor	<p>Coste relativamente bajo por kW instalado, en comparación con las turbinas de gas y micro turbinas.</p> <p>La eficacia aumenta cuando el calor residual se recupera.</p> <p>Se puede añadir / quitar los motores para seguir las tendencias de la curva de gas.</p>	<p>Costes de mantenimiento relativamente altos</p> <p>Emisiones a la atmósfera relativamente altas.</p> <p>Requiere un pretratamiento del biogás exhaustivo.</p>	<p>300 – 1800 m³/h (por motor).</p> <p>Se pueden combinar varios motores para proyectos mayores.</p>
Turbina de gas Tamaño: 1 – 10 MW por turbina	<p>Economías de escala, ya que el costo por kW instalado desciende a medida que aumenta el tamaño de la turbina.</p> <p>La eficiencia mejora con el tamaño también, además aumenta cuando el calor se recupera.</p> <p>Más resistentes a la corrosión.</p> <p>Bajos niveles de emisión de óxidos de nitrógeno. Relativamente compactas.</p>	<p>Las eficiencias caen cuando la turbina funciona a carga parcial.</p> <p>Requieren altos niveles de compresión de gas.</p> <p>Altas cargas parasitarias.</p>	<p>Mínimo 2200 m³/h, normalmente utiliza 3600 m³/h</p>
Microturbinas Tamaño: 30 – 250 kW por turbina	<p>Necesitan un menor flujo de gas.</p> <p>Puede funcionar con gases ácidos y porcentajes de metano más bajos.</p> <p>Bajos niveles de emisión de óxidos de nitrógeno.</p> <p>Interconexión relativamente fácil.</p> <p>Muy bajos costes de mantenimiento y de operación.</p> <p>Posibilidad de añadir y eliminar las unidades para seguir las tendencias de la curva de gas.</p>	<p>Requiere un pretratamiento del biogás.</p> <p>Limitado a bajos caudales de combustible.</p>	<p>34-340 m³/h</p>

Tabla 20 - Ventajas y desventajas de las tecnologías de generación eléctrica con biogás

A la vista de los criterios anteriores y de las ventajas y desventajas de todos los sistemas, se decide optar por un sistema de cogeneración de autoconsumo con microturbinas. Esta tecnología es la que mejor se adapta al tamaño del proyecto, y además ofrece la posibilidad de trabajar con varias unidades en paralelo de modo que se pueda seguir la tendencia de la curva de gas mediante su conexión y desconexión.

11.2. MICROTURBINA DE BIOGÁS COMO TECNOLOGÍA DE APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS. TRATAMIENTO DEL BIOGÁS.

11.2.1 INTRODUCCIÓN A LAS MICROTURBINAS DE GAS

Las microturbinas son equipos muy similares a las turbinas convencionales. Su funcionamiento consiste en aspirar el aire y, tras pasar por un filtro de partículas, comprimirlo. A continuación, se hace circular por un intercambiador de calor donde absorbe parte de la energía de los gases de escape. El motivo es incrementar la temperatura previamente a la entrada a la cámara de combustión con lo que se consigue aumentar la eficiencia del proceso.

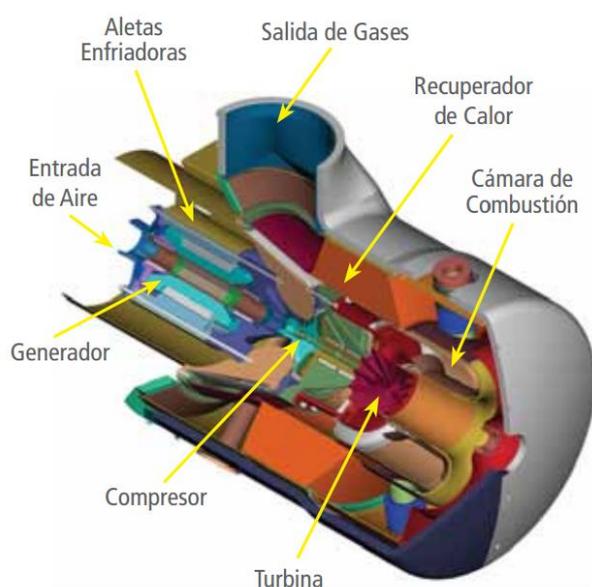


Ilustración 29 - Estructura interna de una microturbina de gas

Una vez en la cámara de combustión, se realiza la inyección del biogás (a una presión de entre 3 y 7 bares) y se produce la combustión de la mezcla. Los gases calientes producto de la combustión se expanden en la turbina, que al girar mueve el alternador eléctrico y el compresor. Los gases de escape expandidos se hacen circular por el intercambiador de calor. La salida del alternador es corriente alterna a alta frecuencia, por lo que es necesario la incorporación de un rectificador AC/DC y de un inversor que permita obtener una corriente alterna trifásica de 50 Hz.

Desde un punto de vista mecánico, al tener una única parte móvil, las microturbinas presentan menos requerimientos de mantenimiento que los motores alternativos. Además, al tener rodamientos por aire, disminuyen los costes de operación por no necesitar lubricantes. En cuanto a emisiones atmosféricas, las microturbinas también presentan menos emisiones de CO₂ y NO_x que los motores de cogeneración.

11.2.2 PRETRATAMIENTO DEL BIOGÁS

El biogás es una mezcla de gases obtenidos por fermentación anaerobia de la materia orgánica y está compuesto de CO_2 y CH_4 con vapor de agua y trazas de otros compuestos como el SH_2 , N_2 , siloxanos, hidrocarburos halogenados, así como partículas y espumas. Su composición dependerá del tipo de residuo biodegradado.

Gases	Desechos agrícolas	Lodos cloacales	Desechos industriales	Relleno sanitario	Propiedades
Metano	50 – 80%	50 -80 %	50 – 70%	45 – 65 %	Combustible
Dioxido de carbono	30-50%	20 – 50%	30 – 50 %	34 – 55 %	Ácido, asfixiante
Vapor de agua	saturación	saturación	saturación	saturación	Corrosivo, reduce valor calorífico
Hidrógeno	0 – 2 %	0 – 5 %	0 – 2 %	0 – 1 %	Combustible
Sulfuro de hidrógeno	100 –700 ppm	0 – 1 %	0 – 8 %	0,5 – 100 ppm	Corrosivo, tóxico, oloroso
Amoniaco	trazas	trazas	trazas	trazas	Corrosivo
Monóxido de carbono	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 1 %	trazas	Tóxico
Nitrógeno	0 – 1 %	0 – 3 %	0 – 1 %	0 – 20 %	Inerte
Oxígeno	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 1 %	0 – 5 %	Corrosivo
Orgánicos	trazas	trazas	trazas	5 ppm (terpenos, ésteres, hidrocarburos)	Corrosivo, oloroso

Tabla 21 - Composición del biogás en función de su procedencia

Para su utilización como combustible es muy recomendable proceder a su depuración para eliminar los componentes que pueden disminuir el rendimiento o causar inconvenientes en la aplicación:

- El vapor de agua disminuye el poder calorífico del biogás, y si condensa se pueden formar compuestos corrosivos con el CO_2 y SH_2 .
- Los hidrocarburos de alto peso molecular como los halogenados pueden causar problemas de corrosión en los motores de generación de electricidad.
- El SH_2 es posiblemente el compuesto que causa mayores problemas, ya que es extremadamente venenoso y al quemarse forma óxidos de azufre con los riesgos de corrosión y contaminación que conllevan.
- Si el biogás procede de vertederos, puede contener uno o más tipos de siloxanos. Cuando este biogás se quema, los siloxanos se convierten en dióxido de silicio (SiO_2), una sustancia de aspecto arenoso que causa abrasión en las superficies de la cámara de combustión, repercutiendo en los costes de mantenimiento.

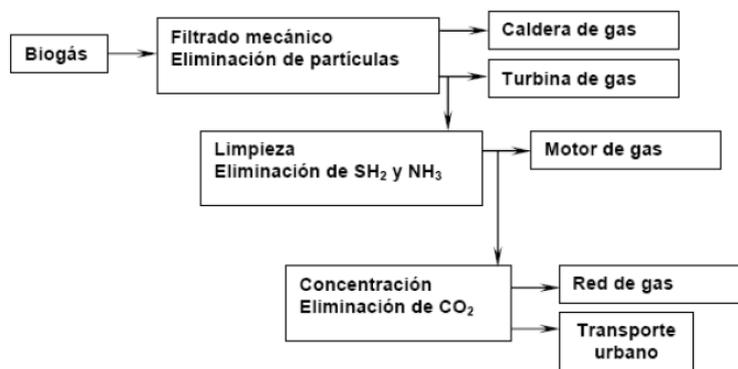


Ilustración 30 - Tratamiento de biogás

El tratamiento primario consiste en el filtrado y la deshumificación del gas. La eliminación de partículas se consigue mediante el uso de rejillas metálicas, trampas de agua o combinaciones de ambas, mientras que la humedad se suele eliminar con trampas de condensados repartidas por todo el sistema de extracción de biogás (si la digestión se realiza a 35 °C, el biogás contiene aproximadamente 35 gH₂O/m³).

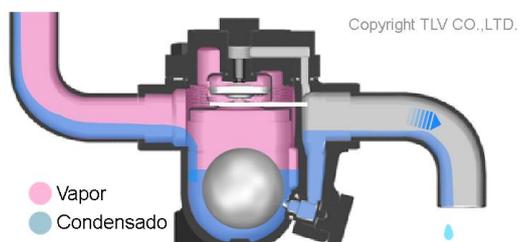


Ilustración 31 - Funcionamiento de una trampa de condensado

Por otro lado, el tratamiento secundario consiste en eliminar el ácido sulfhídrico y el siloxano presente en el biogás. Dado que los siloxanos se encuentran en productos de uso doméstico y comercial que se desechan en los vertederos, el biogás que se obtenga en la depuradora estará exento de siloxanos, por lo que únicamente será necesario eliminar el sulfuro de hidrógeno, y sólo en el caso de que esté presente en una cantidad superior a 5000 ppm (ver características de la microturbina a emplear).

Existen diversas tecnologías de tratamiento secundario, siendo la adsorción por carbón activo la más utilizada por su sencillez y eficiencia, a pesar de su elevado coste y del inconveniente de la formación de un residuo que debe ser adecuadamente gestionado. En el mercado existen numerosos tipos de carbón activado, y la elección debe ser hecha de acuerdo a la composición real de biogás y la concentración de contaminantes.

La empresa DESOTEC IBERIA está especializada en sistemas de tratamiento de aire mediante filtros de carbón activo, y cuenta con programas de recuperación y reactivación de filtros, reduciendo así el impacto de esta tecnología sobre el medio ambiente. Además, cuentan con un gran servicio de transporte y distribución a nivel internacional, asegurando la sustitución de los filtros en un periodo de 72 horas.

Atendiendo al caudal de gas a tratar, DESOTEC cuenta con distintos filtros. Para hacer frente al caudal de diseño de 2450 Nm³/día, se empleará el modelo Aircon® 200 de capacidad máxima 200 Nm³/h, con una caída de presión de 3 kPa y dimensiones 960 mm de alto y 575 mm de diámetro.



Ilustración 32 – Filtro de carbón activo Aircon® 200 de DESOTEC

En base a todo lo anterior, se realizará:

- Un tratamiento primario de filtrado mediante filtro de grava, y deshumificación mediante trampas de condensado repartidas adecuadamente por el conducto de extracción de biogás. Actualmente la EDAR de Almassora ya cuenta con un tratamiento primario previo al gasómetro de membrana, por lo que no es necesario realizar ninguna instalación adicional.
- Sólo si la concentración de SH_2 superase los 5000 ppmv, un tratamiento secundario de eliminación por adsorción del SH_2 mediante dos filtros de carbón activo Aircon® 200 DESOTEC instalados en paralelo, de modo que mientras uno esté en funcionamiento el otro esté en mantenimiento o espera.

11.2.3 MICROTURBINAS CAPSTONE C65 ICHP

A través de ingeniería avanzada y más de 100 patentes, las microturbinas Capstone integran una turbina, un generador magnético, electrónica de potencia y un sistema de cojinetes de aire en un equipo absolutamente autónomo y con funcionamiento desatendido, sin necesidad de líquidos lubricantes ni refrigerantes.

Capstone ofrece microturbinas escalables desde 30 kW hasta 30 MW y pueden operar con varios combustibles líquidos y gaseosos incluyendo: gas natural, GLP, propano, gas de vertederos, biogás, diésel, combustible de aviación y queroseno.



Ilustración 33 - Microturbinas Capstone desde 30 kW a 1000 kW

El caudal de biogás disponible en la EDAR de Almassora permite obtener una potencia bruta por combustión de entre 370 y 500 kW, lo que se traduce en unos 1345 MJ/h y 1800 MJ/h. En base a este flujo de energía disponible y consultando el catálogo de microturbinas Capstone, se decide trabajar con tres microturbinas Capstone C65 ICHP, de 888 MJ/h (1188 Nm^3 biogás /día) cada una, en configuración de 2 titulares y 1 reserva, de modo que, en régimen normal de funcionamiento, se genere una potencia eléctrica total de 130 kW.

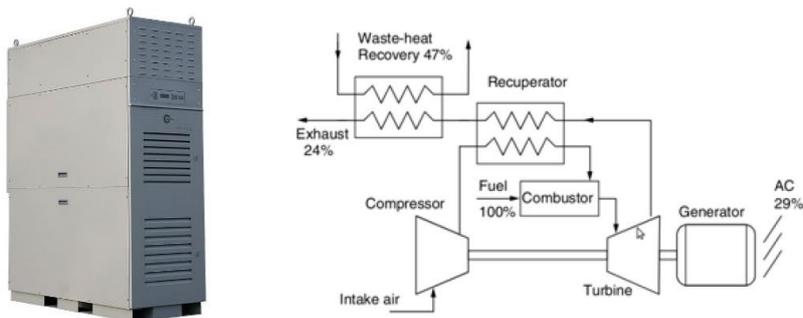


Ilustración 34 - Microturbina Capstone C65 ICHP y su diagrama de flujo

Electrical Performance ⁽¹⁾	
Electrical Power Output	65kW
Voltage	400–480 VAC
Electrical Service	3-Phase, 4 wire
Frequency	50/60 Hz, grid connect operation
Maximum Output Current	100A, grid connect operation 100A, stand alone operation ⁽²⁾⁽³⁾
Electrical Efficiency LHV	29%
Fuel/Engine Characteristics ⁽¹⁾	
Landfill Gas HHV	13.0–22.3 MJ/m ³ (350–600 BTU/scf)
Digester Gas HHV	20.5–32.6 MJ/m ³ (550–875 BTU/scf)
H ₂ S Content	< 5,000 ppmv
Inlet Pressure	517–552 kPa gauge (75–80 psig)
Fuel Flow HHV	888 MJ/hr (842,000 BTU/hr)
Net Heat Rate LHV	12.4 MJ/KWh (11,800 BTU/kWh)
Exhaust Characteristics ⁽¹⁾	
NOx Emissions @ 15% O ₂ ⁽⁴⁾	< 9 ppmvd (18 mg/m ³)
NOx / Electrical Output ⁽⁴⁾	0.16 g/bhp-hr (0.46 lb/MWhe)
Exhaust Gas Flow	0.49 kg/s (1.08 lbm/s)
Exhaust Gas Temperature	309°C (588°F)

Tabla 22 - Características técnicas de la microturbina Capstone C65 ICHP

El biogás generado debe de ser inyectado a una presión próxima a 5 bares, y los elementos constructivos de la microturbina pueden operar con una presencia de SH₂ en el combustible de hasta 5000 ppm en volumen, por lo que, si el biogás obtenido en el proceso de digestión presentase un contenido en sulfuro de hidrógeno inferior a dicho valor, no sería necesario aplicar ningún tratamiento secundario al biogás.

A priori resulta imposible conocer la concentración de SH₂ que se tendrá en el biogás generado, pero suele estar comprendida entre 1000 y 4000 ppm de forma general. Para el caso del aprovechamiento del biogás vía motores resulta imprescindible reducir la concentración del sulfuro de hidrógeno por debajo de los 250 ppm, en cambio las turbinas son más permisibles en este sentido. Por esto, la decisión de implantar un sistema de tratamiento secundario mediante filtros de carbón activo podrá ser rectificada en la fase de explotación del proyecto en el caso de que se determine que la concentración de SH₂ en el biogás no supera los 5000 ppm señalados en la ficha técnica de la microturbina.

11.2.4 CONEXIÓN A LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Para poder adaptar la corriente generada a una corriente alterna de 50 Hz útil, se utiliza electrónica de potencia. Se genera corriente alterna a frecuencia variable, se convierte a corriente continua y, mediante un inversor, se vuelve a convertir en corriente alterna. De este modo, el movimiento de la máquina es independiente de la frecuencia de la red y se puede decir que la máquina está permanentemente sincronizada.

Esta sincronización permanente o este acoplamiento por inversor, facilita la conexión de las microturbinas tanto a las redes de baja tensión de los centros consumidores como a los cuadros de conexión a la red. No es necesario ningún elemento intermedio, la microturbina conecta directamente y sincroniza al conectarla a un cuadro de baja tensión.

En el inversor, las microturbinas ya disponen de las protecciones eléctricas de baja tensión y el hecho que la máquina pueda girar a diferentes revoluciones sin perder el sincronismo, hace la conexión muy sencilla y fiable. Por tanto, la microturbina puede instalarse, sin necesidad de ningún equipo de protección auxiliar, junto a la línea de acometida de la planta depuradora, de modo que transformador y microturbina trabajen en paralelo.

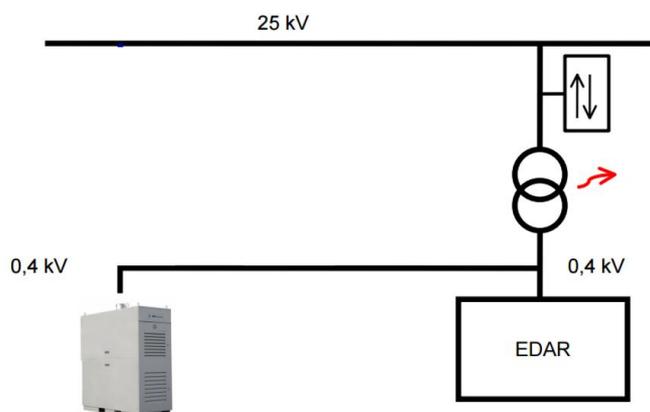


Ilustración 35 - Conexión eléctrica de la microturbina

11.3. RESUMEN Y ESQUEMA DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS POR COGENERACIÓN MEDIANTE MICROTURBINAS

El caudal de biogás disponible en la depuradora de Almassora permite instalar dos microturbinas Capstone C65 ICHP de 65kW de potencia eléctrica cada una, junto a una tercera microturbina de reserva. El biogás sufrirá un tratamiento primario de filtrado y deshumificación, y un tratamiento secundario de eliminación de SH_2 por filtro de carbón activo. Este tratamiento secundario podrá ser rechazado en la fase de explotación si la concentración de SH_2 en el biogás resulta ser inferior a 5000 ppm. Finalmente, el sistema contará con una antorcha para quemar el exceso de producción de gas respecto al consumo en las microturbinas.

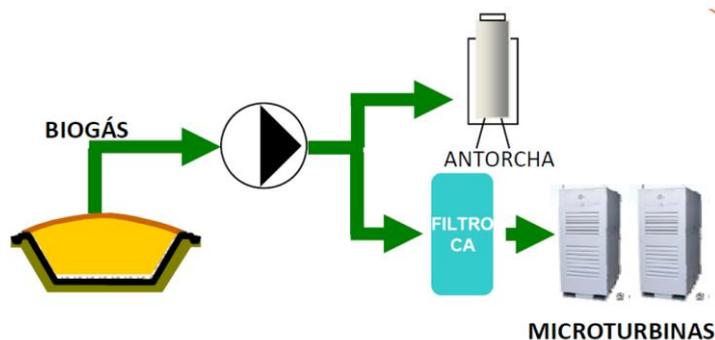


Ilustración 36 - Esquema del sistema de aprovechamiento de biogás por cogeneración mediante microturbinas

Actualmente la depuradora de Almassora cuenta con una antorcha capaz de quemar un caudal de $240 \text{ m}^3/\text{h}$. La antorcha está diseñada de acuerdo con el principio de un quemador de inyección y consiste en una boquilla, un inyector con una regulación de flujo de aire, un tubo de protección contra las llamas, un grupo de ajuste y un sistema de control para el encendido y regulación de la llama.

12. INSTALACIÓN TÉRMICA

12.1. INTRODUCCIÓN AL INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO TIPO HORQUILLA

Un intercambiador de calor es un componente que permite la transferencia de calor de un fluido (líquido o gas) a otro fluido. El calor es transferido del fluido con mayor temperatura hacia el de menor temperatura, al encontrarse ambos fluidos en contacto térmico con las paredes metálicas que los separan.

El intercambiador de doble tubo, también llamado de tubos concéntricos, en su configuración más básica consiste en un tubo interior dispuesto concéntricamente en el interior de otro tubo de diámetro mayor que hace las veces de carcasa, de modo que un fluido circula por el tubo interior y otro por la holgura restante en el tubo exterior.



Ilustración 37 - Intercambiador simple de doble tubo

La disposición de los flujos puede ser en contracorriente o en paralelo. En contraste con el intercambiador de calor de flujo paralelo, el de contraflujo puede presentar, una vez realizada la transferencia de calor, la temperatura más alta en el fluido frío y la más baja en el fluido caliente. Por lo tanto, los intercambiadores de flujo contracorriente resultan ser más eficientes.

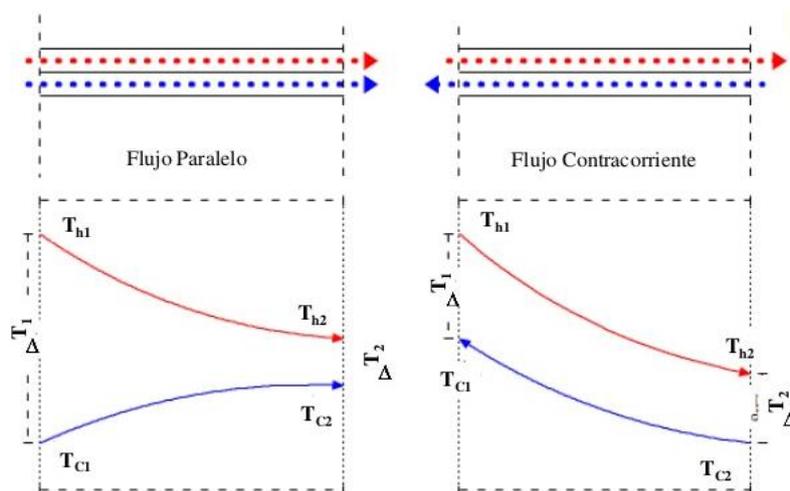


Ilustración 38 - Distribución de temperatura en intercambiadores de flujo paralelo y flujo contracorriente

A pesar de que los intercambiadores de doble tubo presentan el menor grado de compacidad, resultan la mejor opción en determinadas situaciones como cuando la diferencia de caudales entre ambos fluidos es muy grande, cuando se tiene un coeficiente de convección muy bajo (gases y líquidos viscosos) o cuando se opera con fluidos sucios debido a su facilidad de limpieza.

Por tanto, dado que en el presente proyecto los dos trabajos de fluido presentan una baja transferencia de calor y uno de ellos presenta alta viscosidad, este tipo de intercambiadores resultan ser los más adecuados para este proyecto. Además, se suelen emplear unidades estándar, por lo que presentan costes económicos reducidos de inversión e instalación.

La geometría más habitual en la industria es la de tipo horquilla, que consiste en una sucesión de tramos rectos unidos por codos de 180°. El diámetro interior del tubo exterior oscila entre 50 y 600 mm, con longitudes por tramo recto de entre 1,5 y 12 m. El diámetro exterior del tubo interior oscila entre 19 y 100 mm.



Ilustración 39 - Intercambiadores de doble tubo tipo horquilla

Con el fin de incrementar el coeficiente global de transmisión, incrementar la compacidad del intercambiador y conferir mayor rigidez a la estructura, se utilizan aletas en el tubo interior del intercambiador. Además, para mejorar el coeficiente de convección, se colocan interrupciones en las aletas longitudinales.



Ilustración 40 - Disposición de las aletas en el tubo interior del intercambiador

12.2. DISEÑO DEL INTERCAMBIADOR DE DOBLE TUBO TIPO HORQUILLA

El diseño del intercambiador de calor se hará bajo encargo atendiendo a los siguientes aspectos:

- Según lo explicado en el apartado 9 de la presente memoria, se tiene que, para el peor de los casos, la potencia térmica necesaria para calentar el sustrato, y con él calefactar el digestor a una temperatura de 35 °C, es de 90 kW. Por tanto, el intercambiador a instalar tendrá una potencia térmica nominal igual o superior a 100 kW.
- Por las razones descritas en el punto 12.1 del presente apartado, el intercambiador será de doble tubo tipo horquilla, con una disposición de flujos en contracorriente. El tubo interior del intercambiador contará con un aleteado longitudinal en su periferia, con interrupciones que mejoren el coeficiente de convección (Ilustración 40).
- Por el conducto interior circularán los gases de combustión, con una temperatura de entrada promedio de 309 °C y un caudal medio de 1 kg/s. Por el conducto exterior, y en sentido contrario a los gases de combustión, circulará el sustrato resultante de la mezcla lodos-ROB. Para el diseño del intercambiador puede considerarse un caudal medio de sustrato de 63720 kg/día, a una temperatura de entrada de 9 °C y una temperatura de salida de 38 °C, lo que supone una potencia térmica neta intercambiada de 90 kW.
- Para evitar que la caída de presión a superar por los gases de combustión a su salida de la microturbina repercuta en el rendimiento de las microturbinas, el intercambiador de calor estará constituido por dos módulos iguales configurados en paralelo, de manera que entre ellos sumen una potencia térmica nominal igual o superior a 100 kW.

13. ALMACENAMIENTO DEL BIOGÁS

Actualmente la depuradora de Almassora cuenta con un gasómetro de membrana de poliéster de 1040 m³ de capacidad que, mediante una soplante, almacena el biogás producido a una presión relativa de 2 kPa. A través de una tubería de 125 mm de diámetro se envía el gas desde el digestor al gasómetro haciéndolo pasar previamente a través de un filtro de grava de 800 mm de diámetro y trampas de condensado. Finalmente, el gas es conducido a las calderas a través de una tubería de 80 mm, y a la antorcha a través de una tubería de 100 mm. La alimentación de las calderas se realiza a través de un ventilador de sobrepresión y una válvula autorreguladora, de acuerdo con la demanda de combustible en el quemador.

Dado que la solución proyectada en el presente documento plantea un sistema de aprovechamiento de biogás mediante la cogeneración en microturbinas, es necesario realizar un tratamiento más exhaustivo del biogás, así como comprimirlo a una presión de entre 517 y 552 kPa (según la ficha técnica de las microturbinas Capstone C65 ICHP). Por tanto, las instalaciones actuales de la depuradora necesitan ser adaptadas para su uso en este proyecto.

Con el fin de recoger y almacenar el gas de digestión se utilizará un gasómetro cerrado de 200 m³ de media presión (8 bares) de tipo horizontal con fondos bombeados sobre cunas de apoyo. El biogás será comprimido mediante un compresor de pistón, cuyas características se ajusten a las mencionadas en el pliego de condiciones técnicas. La bomba funcionará con un rango de histéresis, activándose cuando la presión en el interior del gasómetro baje de los 6 bares y deteniéndose cuando se restablezcan los 8 bares.

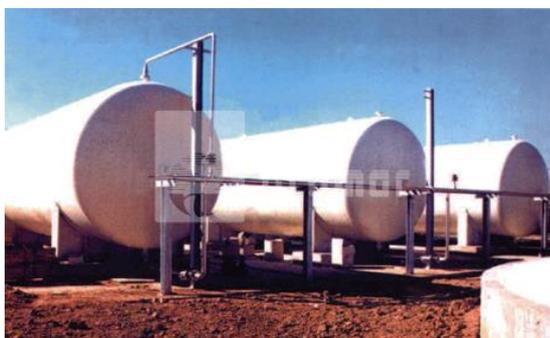


Ilustración 41 - Gasómetros cerrados de media presión de 200 m³

De este modo, a una presión de 8 bares habrán almacenados 1800 Nm³ de biogás, mientras que a 6 bares 1385 Nm³, lo que permite suministrar 415 Nm³ de biogás con el compresor desconectado, lo que se traduce en un tiempo de desconexión aproximado de 4 horas, ya que cada microturbina demanda un promedio de 50 Nm³ biogás/hora a un 50% de riqueza en metano. En total, el gasómetro de membrana y el gasómetro cerrado de media presión sumarán una capacidad de almacenamiento total de 2860 Nm³.

El tramo de aspiración partirá del gasómetro de membrana existente en la depuradora, mientras que en el tramo de impulsión se instalará el filtro de carbón activo para la eliminación del SH₂ y finalmente una válvula autorreguladora de presión a 5.5 bares.

Todas las conducciones de gas serán de acero inoxidable, previéndose válvulas contra sobrepresión y contra vacío, sistemas antirretorno, apagallamas, filtros de grava con purga de condensados, reguladoras de presión, medidores de presión, etc. También se prevé un analizador para conocer el contenido en metano del gas de digestión.

14. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS

En base a la teoría desarrollada en los puntos anteriores acerca del sistema de aprovechamiento de biogás, se puede confeccionar un diagrama de flujo del mismo que muestre de manera clara y visual los equipos que constituyen el sistema, así como su interconexión y la función que desempeñan.

El digestor anaerobio es el elemento principal del sistema, ya que en él tiene lugar el proceso de biometanización del sustrato y, como consecuencia, la producción de biogás. En él nace, por un lado, la línea de tratamiento, almacenamiento y aprovechamiento del biogás y, por otro lado, la línea de recirculación de la mezcla lodos-ROB.

La línea de biogás está constituida, por orden de aparición, por el tratamiento primario (filtros grava y trampas de condensado), la soplante, el gasómetro de membrana, el compresor de pistón, el gasómetro cerrado de media presión, el tratamiento secundario (filtros de carbón activo), la válvula autorreguladora de presión, las microturbinas y, finalmente, los intercambiadores de calor. Por su parte, la línea de recirculación está constituida únicamente por las bombas de recirculación y los intercambiadores de calor.

Ambas líneas cuentan con válvulas que permiten el aislamiento individual de cada uno de los equipos con el objetivo de facilitar las maniobras de mantenimiento. Del mismo modo, ambas líneas contarán con los equipos auxiliares oportunos, como válvulas sobrepresión y contra vacío, sistemas antirretorno, apagallamas y medidores de presión.

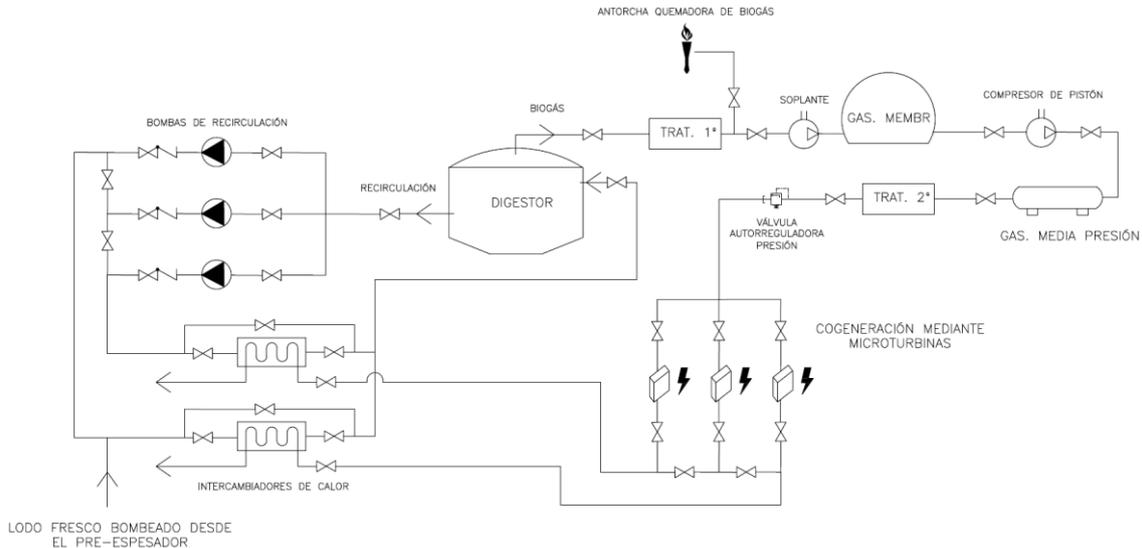


Ilustración 42 – Diagrama de flujo del sistema de aprovechamiento de biogás

15. RECEPCIÓN, ALMACENAMIENTO Y ACONDICIONAMIENTO DEL ROB

La cantidad total de ROB a introducir en el digestor es de unas 5 toneladas diarias, un tercio de la fracción orgánica de los residuos municipales de Almassora. Este ROB provendrá de la empresa pública RECIPLASA, la cual recibe los residuos sólidos urbanos de 8 ayuntamientos (l'Alcora, Almassora, Benicàssim, Betxí, Borriana, Castellón de la Plana, Onda y Vila-real) y cuenta con una estación de transferencia de residuos sólidos urbanos (RSU) en el término municipal de Almassora y una planta de reciclado y compostaje con vertedero de rechazos en el término municipal de Onda.

Con el objetivo de minimizar los costes de transporte, se contratará el servicio de camiones de RECIPLASA para que, tras el traslado de los RSU desde la estación de transferencia de Almassora a la planta de reciclado de Onda, estos vuelvan cargados con el ROB que se obtiene en esta última planta. De esta forma se aprovecha el trayecto de vuelta que realizan los camiones que, de otra forma, se realizaría sin trasladar ningún tipo de residuo.

Estos vehículos tienen una capacidad de carga de 18 toneladas, por lo que bastaría con que el transporte de ROB desde la planta de reciclado de Onda hasta la EDAR de Almassora tuviera lugar dos veces por semana. Este residuo orgánico sería volcado en una tolva de recepción y dosaje de capacidad suficiente, de modo que contase con un tornillo sin fin en la base que, accionado por un motorreductor, descargase de forma continua el ROB en el digestor anaerobio.



Ilustración 43 – Tolva de recepción y dosaje

El sistema de dosaje será similar al mostrado a continuación (Ilustración 44), de modo que el tornillo sin fin cuente con una ligera pendiente que permita recoger el líquido retenido en el residuo orgánico bruto.

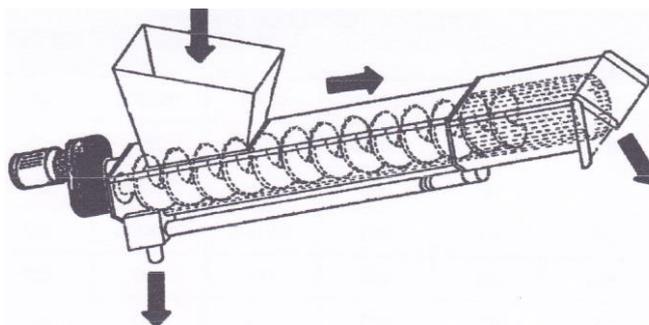


Ilustración 44 - Sistema de dosaje modelo

Para realizar el volcado desde el camión a la tolva, o bien se construirá una plataforma sobre la cual el camión realice la descarga, o bien la tolva se construirá a una determinada profundidad para que la descarga pueda realizarse de forma natural.

En cuanto al acondicionamiento del co-sustrato, dependiendo del tipo de residuo orgánico a co-digerir, es necesario realizar o no una serie de operaciones con el fin de homogeneizar el co-sustrato y otorgarle las condiciones físico-químicas adecuadas. No obstante, dado que en la co-digestión de lodos y ROB no es necesario corregir el pH ni interferir de ningún otro modo sobre el proceso (Sosnowski et al., 2008), no es necesario realizar ninguna operación de acondicionamiento sobre el ROB.

16. GESTIÓN DEL DIGESTATO

16.1. MARCO NORMATIVO DE GESTIÓN DE RESIDUOS EN UNA EDAR

Las estaciones depuradoras de aguas residuales son productores de lodos y como tales productores de residuos deben asegurar su correcta gestión, y pueden realizarla directamente o encargarla a gestores autorizados, todo ello conforme a lo que establece la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados. La orientación de su gestión debe realizarse respetando los principios de la política de residuos relativos a la protección del medio ambiente y la salud humana y aplicando la jerarquía en las opciones de gestión, priorizando la prevención sobre el reciclado, otros tipos de valorización incluida la energética y quedando en último lugar el depósito en vertedero. En la actualidad las orientaciones sobre su gestión se recogen en el Plan Nacional Integrado de Residuos (PNIR).

Con carácter general los lodos se tratan en la propia depuradora para reducir su contenido en agua, en patógenos y asegurar la estabilidad de la materia orgánica. Los tratamientos biológicos más frecuentes son la digestión anaerobia, la estabilización aerobia o el compostaje.

Una vez tratados, los lodos pueden ser sometidos a otras operaciones de tratamiento finalistas que aseguran un destino final adecuado y ambientalmente seguro. Los lodos pueden ser:

- Aplicados en los suelos agrícolas conforme a lo que establece el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario.
- Incinerados en instalaciones de incineración de residuos o coincinerados en cementeras conforme al Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.
- Depositados en vertederos siempre que cumplan las condiciones que se establecen en el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

La regulación relativa a la utilización de lodos de depuración en el sector agrario crea el Registro Nacional de Lodos que incluye la información que deben suministrar las instalaciones depuradoras, las instalaciones de tratamiento de lodos y los gestores que realizan la aplicación agrícola. La actualización de la información contenida en dicho Registro debe hacerse conforme a lo que establece la Orden AAA/1072/2013, de 7 de junio, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario.

Según datos del Registro Nacional de Lodos ha primado como destino final su utilización agrícola (aproximadamente el 80% de los generados). Se ha logrado reducir en gran medida el depósito en vertedero (aproximadamente el 8% actualmente), y la incineración va creciendo (en torno a un 4%). Otro destino de menor importancia cuantitativa es el uso de los lodos en suelos no agrícolas.

16.2. GESTIÓN DEL DIGESTATO EN LA EDAR DE ALMASSORA

Tras el proceso de digestión anaerobia se obtiene un producto semi-líquido, denominado digestato, que tiene un uso potencial como fertilizante orgánico. Con el fin de conseguir una textura adecuada para que sea manejable y transportable, el digestato es sometido a un proceso de deshidratación.

En la depuradora de Almassora, el proceso de deshidratación se lleva a cabo por medio de un espesador por gravedad y dos filtros banda. Además, para aumentar la eficacia de la separación sólido-líquido, se utiliza polielectrolito floculante previamente al filtrado mecánico.

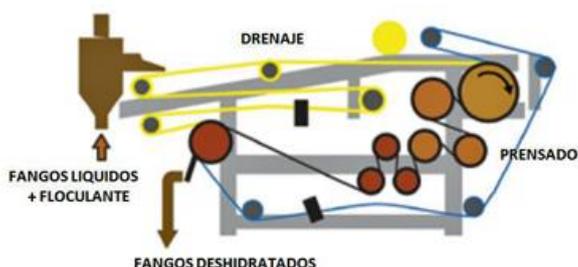


Ilustración 45 - Esquema de funcionamiento de un filtro banda

Tras el proceso de deshidratación se obtiene un producto con una sequedad entorno al 18%, que es almacenado en una tolva de 150 m³ de capacidad a la espera de ser cargado en camiones para su posterior uso como fertilizante.

16.3. PROPIEDADES FERTILIZANTES DEL DIGESTATO

Como ya se ha comentado anteriormente, además de generar biogás combustible, la fermentación anaeróbica de la materia orgánica produce un residuo de excelentes propiedades fertilizantes. Pasando por el digestor, la materia orgánica no pierde sus cualidades fertilizantes, debido a que en la formación de biogás esta ha perdido solamente carbono (C), mientras que otros elementos fertilizantes como el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K), se conservan y se hacen más asimilables para las plantas. Su composición varía de acuerdo al desecho utilizado, y en promedio un análisis en base seca es el siguiente:

Parámetro	Valor
pH	7,5
Materia Orgánica	85%
Nitrógeno	2,6%
Fósforo	1,5%
Potasio	1,0%

Tabla 23 - Composición promedio del efluente del digestor. Fuente: EMISON MEDI AMBIENT.

1 m ³ de efluente del digestor funcionando como estiércol equivale a:
- 10 kg de sulfato de amonio ((NH ₄) ₂ SO ₄)
- 4,5 kg de superfosfato
- 10 kg de cloruro de potasio (KCl)
- y otros elementos fertilizantes

Tabla 24 - Equivalencias entre efluente del digestor y diferentes estiércoles. Fuente: Altech

La aplicación del efluente al suelo le trae beneficios similares a los que se alcancen con cualquier materia orgánica. Es decir, que actúa como mejorador de las características físicas, facilitando la aireación, aumentando la capacidad de retención de humedad y la capacidad de infiltración del agua. Estos biofertilizantes son ricos en potasio y además sirven para reconstituir los suelos.

El bio-abono se puede utilizar tanto en cultivos perennes como en árboles forrajeros que sirven de alimento para el ganado. Por su alto valor nutritivo para las plantas, el efluente se usa preferentemente en cultivos anuales de alto valor en el mercado, como es el caso de las hortalizas.

Al mismo tiempo, el efluente del digestor cumple una función fitosanitaria ya que actúa como repelente contra insectos y plagas de los cultivos. El efluente es muy utilizado para fertilizar plantas acuáticas, plantas ornamentales y también encuentra aplicación para el cultivo de peces, pues se fertilizan los estanques para producir algas y fitoplancton que consumen los peces. (Vega, 2000).

17. DIMENSIONADO DEL COLECTOR POR GRAVEDAD

17.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Con el objetivo de aceptar las aguas residuales de la EDAR Vila-real a la EDAR de Almassora, se instalará una conducción que comunique ambas depuradoras. Dado que la distancia que las separa es de 1,3 km y la diferencia de cotas de 7 metros, se obtienen una pendiente del 0,5%, adecuada para instalar un colector por gravedad sin necesidad de usar equipos de bombeo.

La pendiente del colector es la característica más importante del colector, y deberá producir velocidades tales que aseguren que sea un colector autolimpiante, que es aquel en el que la velocidad del agua es suficiente para impedir la deposición de sólidos. En el caso de la red de saneamiento de aguas, la velocidad mínima es de 0,5 m/s, y la máxima de hasta 4,5 m/s.

El colector nacerá en una arqueta de reunión en la que concurrirán todos los colectores que llegan a la EDAR Vila-real. El trazado transcurrirá enterrado bajo tierra y de forma paralela al río, y cruzará éste por medio de un sistema de amarre que se instalará en el puente de la carretera autonómica CV-18. Finalmente volcará sus aguas residuales en la arqueta de recepción ya existente de la EDAR de Almassora.

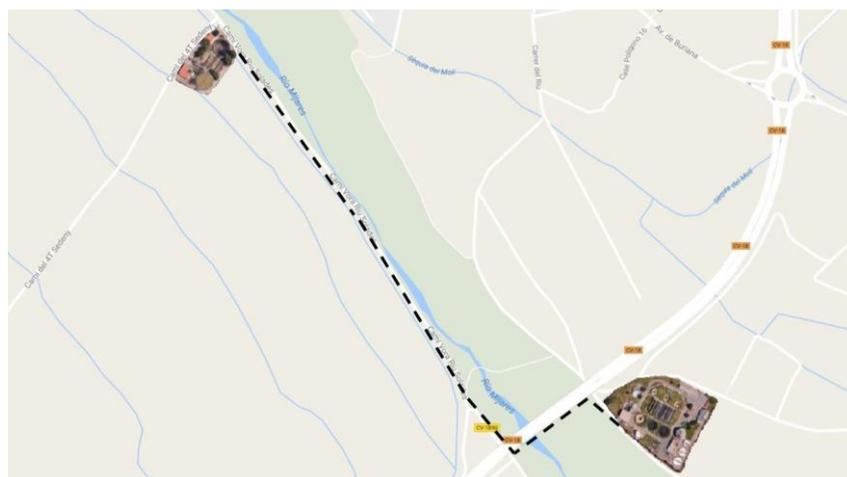


Ilustración 46 - Trazado del colector por gravedad



Ilustración 47 - Puente de la carretera autonómica CV-18 que cruza el río Mijares

La zanja tipo será recta, con ancho mínimo de 80 cm (para tuberías de 400 mm de diámetro, con una holgura de 20 cm por lado) y constará de una cama de arena de 10 cm de espesor, un relleno de protección a base de arena hasta 10 cm por encima de la generatriz del tubo y zahorras compactadas hasta alcanzar la cota inferior del paquete de firme.

Generalmente, para la construcción de redes de alcantarillado se utilizan tuberías acordes al *Pliego de Preinscripciones Técnicas Generales para Tuberías de Saneamiento de Poblaciones*. En este caso los materiales admitidos son:

- Hormigón en masa y armado.
- Gres.
- Policloruro de vinilo no plastificado (PVC-U).
- Polietileno de alta densidad (PEAD).
- Poliéster reforzado con fibra de vidrio.

Inicialmente las redes de alcantarillado sanitario se construían con tubos de cemento, fibrocemento e incluso en algunos casos de gres. Actualmente, el material más utilizado es el PVC-U. El PVC-U tiene unas prestaciones mecánicas y una vida útil inferior a la del hormigón, pero presentan grandes ventajas como flexibilidad, ligereza, resistencia a ataques químicos, baja rugosidad y buen comportamiento bajo heladas. Además, es muy económico y no favorece el desarrollo de hongos o algas. Por tanto, en el presente proyecto se decide emplear una tubería de PVC-U de pared compacta.

El colector deberá cumplir con la norma UNE-EN 1401 “Sistemas de canalización en materiales plásticos para saneamiento enterrado sin presión (PVC-U)”, que incluye las especificaciones de los tubos, accesorios y el sistema, una guía para la evaluación de la conformidad, y la práctica recomendada para la instalación. Además, se empleará un color marrón-naranja, propio de la red de saneamiento.

17.2 CÁLCULO HIDRÁULICO

El cálculo hidráulico del colector se ha llevado a cabo utilizando la fórmula de Manning:

$$v = \frac{1}{n} \cdot R_h^{\frac{2}{3}} \cdot I_0^{\frac{1}{2}}$$

Siendo:

- R_h : radio hidráulico (sección ocupada por el agua / Perímetro mojado) en metros. Para conductos circulares que funcionen a sección llena su valor es $D/4$, donde D es el diámetro del conducto. Para el caso de que funcionen en lámina libre (la mayoría de los casos), este parámetro se calcula mediante iteraciones.
- I : pérdidas de carga en m/m. En el caso de tuberías en las que el agua circula en régimen de lámina libre, es igual a la pendiente. Según el trazado definido previamente, la distancia recorrida son 1300 m, lo que para una diferencia de cotas de 7 metros da una pendiente del 0,54%. Para el cálculo, se considerará una pendiente del 0,5%.
- n : coeficiente de rugosidad de Manning, cuyo valor para distintos materiales se encuentra ampliamente estudiado y puede ser consultado fácilmente. Para el caso del PVC-U se tiene un valor de 0,010.

Actualmente existen herramientas informáticas que, introduciendo el diámetro de la conducción, el coeficiente de rugosidad de Manning, la pendiente hidráulica y el porcentaje de llenado, te devuelven los parámetros de funcionamiento como el caudal, la velocidad, el radio hidráulico o el ancho de lámina libre.

En este proyecto el programa empleado ha sido *Colectores* de Enrique Márquez Pérez, el cual aplica la Norma 5.2-IC Drenaje Superficial, de la Instrucción de Carreteras del Ministerio de Fomento de España. Mediante esta herramienta y teniendo en cuenta los diámetros nominales de las tuberías de PVC-U disponibles en el mercado, se ha determinado que la tubería que mejor se ajusta al caudal a tratar (145 m³/h), la curva característica de consumo y las velocidades máximas y mínimas recomendadas, es aquella con diámetro interior 400 mm. De este modo se asegura que se puedan evacuar caudales de hasta 5 veces el caudal medio, y que con bajos caudales (5% del caudal medio) se tenga una velocidad superior a 0,5 m/s, asegurando la autolimpieza del colector.

Los parámetros de funcionamiento obtenidos para las distintas variaciones de caudal respecto al caudal nominal se recogen en la siguiente tabla. Estos datos hacen referencia a un colector por gravedad de pendiente 0,5%, rugosidad de Manning de 0,010 y diámetro nominal 400 mm.

	0,05 · Q_{NOM}	Q_{NOM}	3 · Q_{NOM}	5 · Q_{NOM}
Velocidad (m/s)	0,50	1,21	1,61	1,72
Llenado tubería (%)	7,3	31,1	57,6	87,7
Área de flujo (mm²)	4.098	33.402	74.992	116.829
Perímetro mojado (mm)	218,6	473,7	689,6	970,2
Radio hidráulico (mm)	18,7	70,5	108,7	120,4
Ancho de lámina libre (mm)	207,8	370,5	395,3	262,6
Nº de froude (-)	1,13	1,28	1,18	0,83
Tensión tangencial (N/m²)	1,43	6,11	11,30	17,21
Presión por velocidad de flujo (mm.c.a)	12,7	74,3	132,3	151,6

Tabla 25 - Parámetros de funcionamiento del colector para distintos caudales

Así pues, se instalará un colector por gravedad enterrado de PVC-U de pared compacta, DN 400 y rigidez anular nominal SN 8, acorde a la norma UNE-EN 1401, que cumpla con las especificaciones técnicas definidas en el subapartado anterior.

18. DIMENSIONADO DE LAS CONDUCCIONES DE LA EDAR ALMASSORA

En este apartado se dimensionan las conducciones a instalar para el transporte de lodo pre-espesado, digestato y biogás, tras las modificaciones a realizar en la EDAR de Almassora, para la implementación de un sistema de cogeneración mediante microturbinas a partir del biogás generado en la co-digestión de lodos y residuo orgánico bruto.

En la medida de lo posible, todos aquellos tramos que ya cuenten con conducciones o equipos de bombeo, serán reutilizados bajo la nueva situación de explotación. Como inicialmente la depuradora se dimensionó en exceso, cabe esperar que las instalaciones existentes de conducción y bombeo cuenten con capacidad suficiente como para trabajar bajo las nuevas condiciones de funcionamiento.

18.1 CAPACIDAD DE LOS TRAMOS EXISTENTES PARA OPERAR BAJO LA NUEVA SITUACIÓN DE ESTUDIO

Como ya se adelantó en los apartados 5 y 6 de la memoria del presente proyecto, debido a la emergente actividad industrial de los polígonos de Almassora, la depuradora fue dimensionada para hacer frente a caudales de agua con elevada carga contaminante. No obstante, el caudal influente, así como el grado de contaminación, resultaron estar muy por debajo de los niveles de diseño, teniendo actualmente unas instalaciones sobredimensionadas en exceso.

Así, aunque bajo la nueva situación el caudal que circula por las líneas industriales está 1000 m³ por encima de los 9000 m³ de capacidad de diseño, dado que la carga de S.S. así como la carga de DBO₅ del agua a tratar es menos de un tercio de la proyectada en las líneas industriales, la cantidad de lodos generada es muy inferior a la cantidad para la fueron diseñadas las instalaciones, por lo que la línea de tratamiento de fangos cuenta con capacidad suficiente para operar bajo las nuevas condiciones de funcionamiento. De hecho, este sobredimensionado de la línea de lodos es el motivo principal por el que resulta necesario la construcción de un digestor anaerobio, con el objetivo de reducir el tamaño de éste y así reducir el calor disipado al exterior.

En cuanto a la línea de tratamiento de agua, las conducciones se dimensionaron para mantener la velocidad entre 2 y 0,5 m/s, buscando siempre una velocidad próxima a 1 m/s. Por tanto, se tiene suficiente flexibilidad para que, pese a que bajo la nueva situación se trabaje un 15% por encima del caudal medio de diseño, la velocidad del agua por el interior de las conducciones esté comprendida en todo momento dentro del rango recomendado de velocidades.

Por tanto, todos aquellos equipos de bombeo que formen parte de la línea de tratamiento de agua o la línea de tratamiento de fangos, podrán funcionar correctamente bajo la nueva situación de explotación reajustando los tiempos de encendido/apagado de las bombas.

Así pues, se mantendrán intactas las instalaciones existentes en la línea de tratamiento de agua, y de la línea de tratamiento de lodos únicamente se sustituirá el digestor anaerobio. Los principales cambios tendrán lugar sobre la línea de tratamiento y aprovechamiento del biogás, aunque se mantendrá la conducción desde el digestor anaerobio hasta el gasómetro de membrana, así como la conducción que transporta el biogás desde el gasómetro de membrana a la antorcha.

18.2 DIMENSIONADO DE LAS CONDUCCIONES DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DEL BIOGÁS

A continuación, se procede al dimensionado de los diámetros de cada uno de los nuevos tramos:

- Tramo 1: Conducción que transporta el biogás desde el gasómetro de membrana a un gasómetro cerrado a 8 bares de presión, a través de un compresor de pistón.
- Tramo 2: Conducción que transporta el biogás, a 8 bares, desde el gasómetro cerrado de media presión hacia las microturbinas, haciéndolo pasar a través del filtro de carbón activo y la válvula reguladora de presión.

El dimensionado de cada uno de los tramos se ha llevado a cabo por el criterio de caída de presión mediante la herramienta informática que ofrece la empresa TLV. Se trata de una empresa especializada en vapor internacionalmente establecida, cuyo departamento de consultoría e ingeniería ofrece una herramienta informática con más de 50 tipos de cálculos para sistemas de vapor, agua, gas y aire.

La ecuación empleada en el dimensionado por el criterio de caída de presión es:

$$\Delta p = \frac{\rho \cdot \mu \cdot l \cdot v^2}{2d}$$

Siendo:

- d: diámetro interno de la tubería (m).
- l: longitud de la tubería (m).
- v: velocidad del gas (m/s).
- Δp : caída de presión (Pa).
- μ : coeficiente de fricción.
- ρ : densidad (kg/m^3).

El dimensionado de cada tramo persigue que la velocidad máxima del gas sea próxima a los 9 m/s, con una caída de presión máxima del 2%. El diámetro seleccionado en cada tramo que cumple con estos criterios queda reflejado en las siguientes tablas:

TRAMO 1		
Dato de partida	Valor	Comentarios
Tamaño de tubería	DN 20	-
Presión del gas	8 barG	-
Temperatura del gas	25 °C	Considerada una Tª promedio de 25 °C
Rango de flujo del gas	215 l/min	Caudal máximo de biogás (2450 Nm ³ /día) a 8 bares de presión.
Peso molecular del gas	28 g/mol	50%CH ₄ , 50%CO ₂
Viscosidad del gas	10 ⁻⁵ Pa·s	-
Longitud equivalente de tubería	10 m	El depósito de media presión estará situado junto al gasómetro de membrana.
Resultado	Valor	Comentarios
Caída de presión	0,05 bar	Caída de presión de un 0,6 %
Velocidad del gas	9,2 m/s	-

Tabla 26 - Dimensionado del tramo 1

TRAMO 2		
Dato de partida	Valor	Comentarios
Tamaño de tubería	DN 25	-
Presión del gas	8 bar	-
Temperatura del gas	25 °C	Considerada una Tª promedio de 25 °C
Rango de flujo del gas	215 l/min	Caudal máximo de biogás (2450 Nm ³ /día) a 8 bares de presión.
Peso molecular del gas	28 g/mol	50%CH ₄ , 50%CO ₂
Viscosidad del gas	10 ⁻⁵ Pa·s	-
Longitud equivalente de tubería	100 m	Estimada en 100 metros para incluir las pérdidas de carga a través del filtro de carbón activo.
Resultado	Valor	Comentarios
Caída de presión	0,14 bar	Caída de presión de un 1,75 %
Velocidad del gas	5,6 m/s	-

Tabla 27 - Dimensionado del tramo 2

En conclusión, para el primer tramo se instalará una tubería de acero inoxidable de DN20 que comunique el gasómetro de membrana con el gasómetro de media presión, los cuales no deberán distar entre sí más de 10 metros. Para el segundo tramo se instalará una tubería de acero inoxidable de DN25. Estas conducciones deberán estar diseñadas para soportar una presión de 8 bares, y contarán con válvulas contra sobrepresión y contra vacío, sistemas antirretorno, medidores de presión, apagallamas, purga de condensados, etc. en aquellas partes en las que se crea necesario.

18.3 DIMENSIONADO DE LAS CONDUCCIONES DEL DIGESTOR ANAEROBIO

El digestor cuenta con dos entradas para los dos tipos de sustratos a co-digerir, y con tres salidas, una para el digestato, otra para la recirculación/calefacción del sustrato y una tercera para el biogás producido.

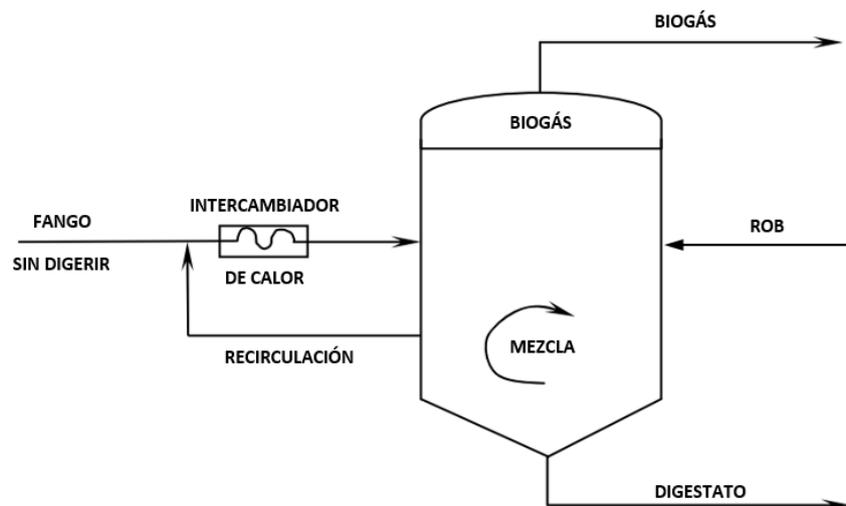


Ilustración 48 - Diagrama de flujo del digestor anaerobio

Excluyendo la entrada de ROB que tiene lugar por medio de un tornillo sin fin, a continuación se procede al dimensionado de las cuatro conducciones restantes:

- Conducción 1 - Tubería de entrada procedente del intercambiador: Por ella circulará el caudal resultante de la suma del lodo fresco y la recirculación. Su diámetro será igual al diámetro calculado en el diseño del intercambiador que optimice la velocidad para una adecuada transferencia de calor.
- Conducción 2 - Tubería de salida del digestato: Esta tubería conducirá el fango digerido hasta el post-espesador. Con el objetivo de minimizar las obras necesarias, se aprovechará, en la medida de lo posible, el trazado existente. Por tanto, para evitar cambios de sección, el tramo que une el digestor con el trazado pre-existente será de diámetro igual a la conducción que haya previamente.
- Conducción 3 - Tubería de recirculación y calefacción de la mezcla lodos-ROB: Dado que se pretenden reutilizar las bombas de recirculación existentes en la depuradora, el diámetro de la conducción vendrá determinado por las dimensiones en la aspiración e impulsión de dichas bombas.
- Conducción 4 - Tubería de salida del biogás: Al igual que en la conducción 2, se reutilizará la instalación existente que transporta el biogás hasta el gasómetro de membrana, por lo que el diámetro del tramo de empalme necesario será de diámetro igual al existente.

19. DIMENSIONADO DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA

Para realizar el dimensionado de las líneas eléctricas y los elementos de seguridad necesarios se aplicará, en todo momento, la normativa más restrictiva, de modo que se esté siempre del lado de la seguridad.

En España, el marco de las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión viene recogido en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT). Según este reglamento, se considera baja tensión aquella que es menor o igual a 1000V en alterna o 1500V en continua, por lo que todas las instalaciones eléctricas del proyecto se regirán por el REBT.

19.1 LÍNEA 1: MICROTURBINAS

La instalación de aprovechamiento energético del biogás generado en la EDAR de Almassora consta de tres microturbinas de 65 kW en configuración de 2 titular y 1 reserva. Para generar energía eléctrica a 400V y 50Hz las microturbinas utilizan electrónica de potencia, de modo que la corriente alterna generada se convierte a corriente continua mediante un inversor, y finalmente se convierte en corriente alterna a frecuencia de red. De este modo el movimiento de la máquina es independiente de la frecuencia exportada.

Esta sincronización permanente o este acoplamiento por inversor, facilita la conexión de las microturbinas tanto a las redes de baja tensión de los centros consumidores como a los cuadros de conexión a la red. No es necesario ningún elemento intermedio, la microturbina conecta directamente y sincroniza al conectarla a un cuadro de baja tensión.

En el inversor, las microturbinas ya disponen de las protecciones eléctricas de baja tensión y el hecho que la máquina pueda girar a diferentes revoluciones sin perder el sincronismo, hace que la conexión sea sencilla y fiable. Por tanto, la microturbina puede instalarse, sin necesidad de ningún equipo de protección auxiliar, junto a la línea de acometida de la planta depuradora, de modo que transformador y microturbina trabajen en paralelo (Ilustración 49).

Según se estipula en la ITC-BT-40, que se aplica a instalaciones generadoras, generadoras los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador, y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5%, para la intensidad nominal.

Aplicando la instrucción técnica más restrictiva (ITC-BT-19), finalmente se tiene:

DISEÑO	Conductores	Aislante	Long.	Instalación	I _{ADMISIBLE}	CdT
117,3 A	Cobre 3x50mm ² + 1x50mm ²	XLPE/EPR	80 m	Bandeja perforada (F)	188 A	1,17%

Tabla 28 - Dimensionado de los conductores eléctricos de las microturbinas

19.2 LÍNEA 2: SISTEMA DE AGITACIÓN DEL DIGESTOR ANAEROBIO

La instalación eléctrica estará compuesta por una línea principal que parta del cuadro primario y llegue al cuadro secundario del sistema de agitación, del cual saldrá una línea secundaria hacia cada agitador. El digestor contará en total con dos agitadores mecánico laterales trifásicos de 400V, 10CV, según lo establecido en el pliego de condiciones técnicas.

Según la ITC-BT-47, para compensar las sobrecargas causadas por los picos de corriente durante el arranque de motores, cabe incrementar un 25% la corriente del mayor motor alimentado por la línea. Además, la caída de tensión del tramo principal será inferior al 1%, y la de los tramos secundarios inferior al 0,5%.

Aplicando la ITC-BT-19, se tienen se obtienen las siguientes secciones para cada tramo:

TRAMO PRINCIPAL						
IDISEÑO	Conductores	Aislante	Long.	Instalación	I _{ADMISIBLE}	CdT
26,6 A	Cobre 3x16mm ² + 1x16mm ² +TTx16mm ²	XLPE/EPR	60 m	Bandeja perforada (F)	105 A	0,7%
TRAMOS SECUNDARIOS						
IDISEÑO	Conductores	Aislante	Long.	Instalación	I _{ADMISIBLE}	CdT
14,8 A	Cobre 3x2,5mm ² + 1x2,5mm ² +TTx2,5mm ²	XLPE/EPR	8 m	Enterrado (D)	27,5 A	0,3%

Tabla 29 - Dimensionado de los conductores eléctricos de los agitadores del digestor anaerobio

19.3 LÍNEA 3: COMPRESOR DE PISTÓN

El compresor de pistón encargado de acumular el biogás a una presión de 8 bares será de una potencia no superior a 15kW, alimentado en trifásica, con un factor de potencia superior a 0,9. Los cables partirán del cuadro principal, serán de cobre con revestimiento XLPE/EPR e irán montados sobre bandeja de cables perforada instalada en galería visitable y enterrado bajo tierra cuando así sea necesario.

Incrementando en un 25% la intensidad nominal según la ITC-BT-47, limitando la caída de tensión en 1,5%, y aplicando la ITC-BT-19 se obtiene:

IDISEÑO	Conductores	Aislante	Long.	Instalación	I _{ADMISIBLE}	CdT
30 A	Cobre 3x10mm ² + 1x10mm ² +TTx10mm ²	XLPE/EPR	80 m	Bandeja perforada (F) y enterrado (D)	58 A	1,5%

Tabla 30 - Dimensionado de los conductores eléctricos del compresor de pistón

19.4 LÍNEA 4: MOTORREDUCTOR

El motorreductor encargado de accionar el tornillo sin fin de la tolva de recepción del ROB será de una potencia no superior a 10 kW, alimentado en trifásica, con un factor de potencia superior a 0,9. Los cables partirán del cuadro principal, serán de cobre con revestimiento XLPE/EPR e irán montados sobre bandeja de cables perforada instalada en galería visitable y enterrado bajo tierra cuando así sea necesario.

Incrementando en un 25% la intensidad nominal según la ITC-BT-47, limitando la caída de tensión en 1,5%, y aplicando la ITC-BT-19 se obtiene:

IdISEÑO	Conductores	Aislante	Long.	Instalación	I _{ADMISIBLE}	CdT
20 A	Cobre 3x10mm ² + 1x10mm ² +TTx10mm ²	XLPE/EPR	80 m	Bandeja perforada (F) y enterrado (D)	58 A	1%

Tabla 31 - Dimensionado de los conductores eléctricos del motorreductor

19.5 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA PROYECTADA

La ilustración siguiente muestra el diagrama unifilar eléctrico de la instalación proyectada en el presente apartado.

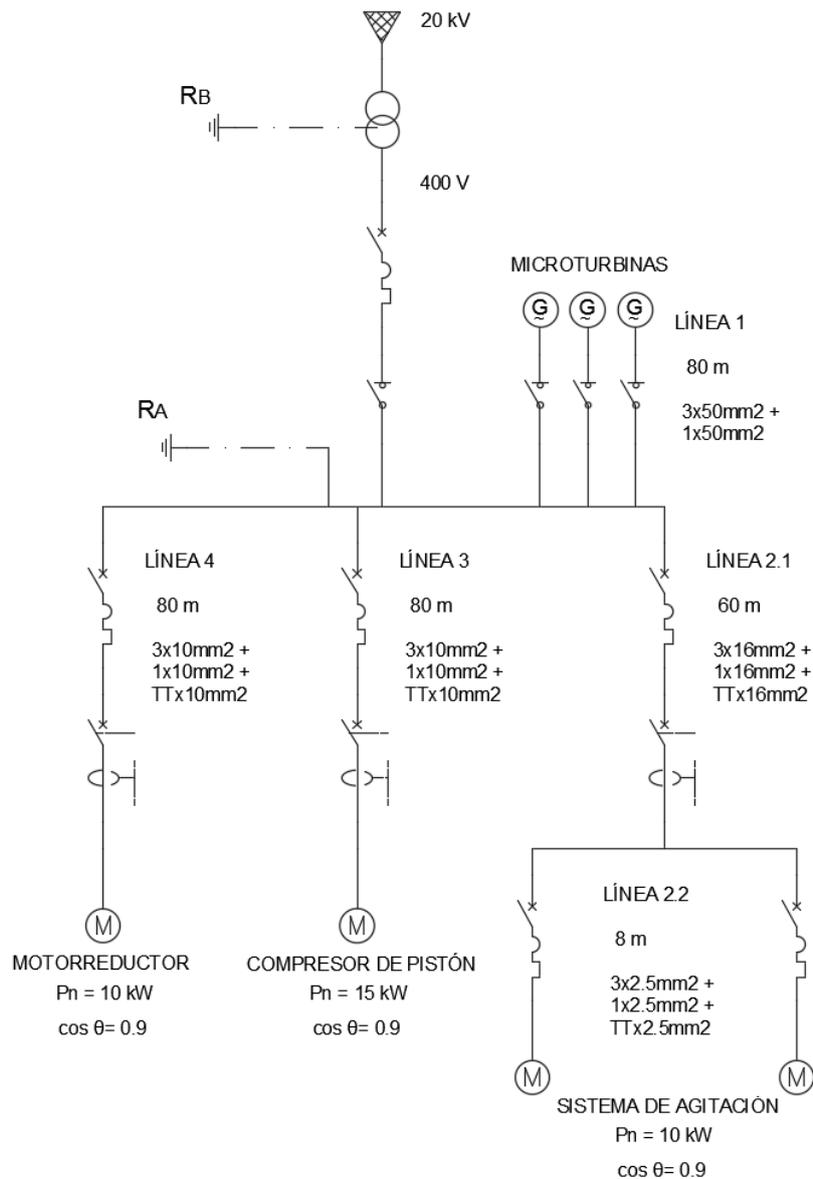


Ilustración 49 - Diagrama unifilar de la instalación eléctrica proyectada

19.6 EQUIPOS DE PROTECCIÓN

19.6.1 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS MAGNETOTÉRMICOS

La protección de las líneas eléctricas frente a sobrecargas y cortocircuitos se llevará a cabo mediante interruptores automáticos magnetotérmicos. Estos se instalarán en el origen de los circuitos, en el interior de los cuadros de distribución correspondientes, en todos aquellos puntos en los que se produzca una reducción de la intensidad admisible.

Para la elección de estos dispositivos, se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

	CONDICIÓN	
PROTECCIÓN FRENTE A SOBRECARGAS	1) Corriente nominal asignada regulada del dispositivo de protección, I_N	$I_b \leq I_N \leq I_z$ Comprendida entre la corriente de ocupación del circuito (I_b) y la corriente admisible del conductor en régimen permanente (I_z).
	2) Corriente convencional de disparo que asegura el funcionamiento efectivo del dispositivo de protección, I_2	$I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$ Si la protección se realiza por medio de magnetotérmicos fabricados de acuerdo con la norma EN 60898, se cumple que $I_z=1,45 \cdot I_N$, por lo que si se cumple (1) también se cumple (2).
PROTECCIÓN FRENTE A CORTOCIRCUITOS	3) Poder de corte, PC	$PC > I_{CC,max}$ PC mayor que la corriente máxima de cortocircuito.
	4) Corriente de accionamiento del disparador, I_a	$I_a < I_{CC,min}$ I_a menor que la corriente mínima de cortocircuito.
	5) Tiempo de corte frente a cortocircuitos	$(I^2t)_{disp} \leq (I^2t)_{adm_{cond}}$ El tiempo de corte del protector frente a cortocircuito no ha de ser superior al tiempo que tarda el conductor en alcanzar su T^A máxima admisible.

Tabla 32 - Condiciones para el dimensionado de los interruptores automáticos magnetotérmicos

19.6.2 INTERRUPTORES DIFERENCIALES

El interruptor diferencial tiene como objetivo proteger a las personas contra choques eléctricos debidos a contactos directos e indirectos, así como proteger las instalaciones y los receptores ante riesgos de incendios.

Para proteger toda la instalación de baja tensión, sería suficiente con colocar un único interruptor diferencial en el origen de la misma, no obstante, esto presenta grandes problemas

como como valores bajos de la resistencia a tierra y el corte de suministro en toda la instalación ante un fallo de aislamiento. Por tanto, se instalará un interruptor diferencial en el origen de cada línea repartidora dentro del cuadro de distribución correspondiente.

Además, se respetará en todo momento la selectividad entre interruptores diferenciales, de modo que la curva de disparo del dispositivo aguas arriba quede a la derecha y por encima de la curva de disparo del dispositivo aguas abajo. Para ello, la elección de estos dispositivos tendrá en cuenta las siguientes condiciones:

- La sensibilidad del dispositivo aguas arriba será, como mínimo, el doble de la sensibilidad del dispositivo aguas abajo.
- En el dispositivo aguas arriba se considerará un retardo voluntario de disparo (diferencial tipo S), de modo que el tiempo de reacción del dispositivo aguas abajo sea menor que el de aguas arriba.

20. RESUMEN DEL PRESUPUESTO

A continuación, se adjunta el resumen del presupuesto del proyecto. El presupuesto completo con sus respectivos descompuestos y mediciones se puede consultar en el documento Presupuesto del presente proyecto.

Capítulo	Importe (€)
Capítulo 1: Digestor anaerobio	170.733,12
Capítulo 2: Aprovechamiento de biogás	450.933,10
Capítulo 3: Colector por gravedad	110.419,76
Capítulo 4: Instalación eléctrica	4.372,00
Capítulo 5: Otros conceptos	60.000,00
Presupuesto de ejecución de materiales	796.457,98
13% gastos generales	103.539,54
6% de beneficio industrial	47.787,48
3% gastos de ingeniería	23.893,74
Subtotal	971.678,74
21% IVA (Impuesto al Valor Añadido)	204.052,53
Presupuesto de ejecución por contrata	1.175.731,27

Tabla 33 - Resumen del presupuesto

El presupuesto de ejecución de materiales (PEM) asciende a 796.457,98 €, mientras que el presupuesto de ejecución por contrata (PEC) asciende a 1.175.731,27 €.

21. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Este apartado pretende analizar los recursos económicos que implica la realización del proyecto, así como la determinación de los costes y beneficios durante la fase de explotación, con la finalidad de establecer la rentabilidad de la inversión en el proyecto.

Para determinar la viabilidad del proyecto se van a calcular los siguientes parámetros económicos:

- Valor actual neto (VAN): es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. Es decir, calcula a valor presente, el dinero que una inversión generará en el futuro, teniendo en cuenta que el valor real del dinero cambia con el tiempo.

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

Siendo:

- n: horizonte de la inversión (años).
- I_0 : inversión inicial (€).
- i_r : tasa de interés real (t.p.u.). Es la tasa de interés que se obtiene del dinero del proyecto, y se calcula como el cociente entre el interés nominal del dinero (i_n) y el índice de precios de consumo (IPC).
- FC_i : flujo de caja del año i. Viene dado por la suma del beneficio neto (B_N) y las amortizaciones:

$$B_{Neto_i} = B_{Bruto_i} \cdot [1 - \text{Impuesto sociedades}(25\%)]$$

$$Amortización_i = \left(\frac{I_0}{\text{Periodo amortización}} \right) \cdot (1 + IPC)^n$$

- Tasa interna de retorno (TIR): Es la tasa de interés para la cual el VAN es cero.

$$i \left| -I_0 + \sum_{n=0}^N \frac{FC_n}{(1+i)^n} = 0 \right.$$

- Periodo de retorno o payback (PR): es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

$$PR = \frac{I_0}{FC_{\text{promedio anual}}}$$

21.1 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial constituye los recursos económicos necesarios para que el proyecto entre en la fase de explotación, y supone renunciar a un consumo actual y cierto a cambio de obtener unos beneficios futuros distribuidos en el tiempo.

La inversión inicial son los costes derivados de la adquisición y acondicionamiento de terrenos, la obra civil, la maquinaria, las instalaciones, y la adquisición de permisos, licencias u otros gastos. Como ya se ha indicado en el resumen del presupuesto, la inversión inicial del presente proyecto constituye el presupuesto de ejecución por contrata (PEC), y asciende a 1.175.731,27 €.

$$I_0 = 1.175.731,27 \text{ €}$$

21.2 GASTOS

En este apartado se consideran los gastos medios anuales que la empresa tendría durante el ejercicio económico. Estos gastos se encuentran recogidos en la siguiente tabla:

Gastos	€/año
Transporte del Residuo Orgánico Bruto	5.200,00
Extra mantenimiento EDAR Almassora	19.000,00
Extra explotación EDAR Almassora	61.429,50
Amortización del PEC a 10 años	117.573,13
Extra personal EDAR Almassora	0,00
Total:	203.202,63

Tabla 34 - Tabla resumen del gasto medio anual

En los siguientes subapartados se justifica cada uno de estos gastos.

21.2.1 TRANSPORTE DEL RESIDUO ORGÁNICO BRUTO

El transporte del ROB desde la planta de reciclado de Onda hasta la EDAR de Almassora se lleva a cabo dos veces por semana, con un recorrido medio de ida y vuelta de 50 km. Considerando un ratio de coste de 1€/km, se obtiene que los gastos derivados del transporte son 5.200 €/año.

21.2.2 COSTES DE MANTENIMIENTO

Los costes de mantenimiento adicionales debidos a la implantación de las medidas que se proponen en el presente proyecto son, a priori, difíciles de cuantificar. No obstante, se puede acudir a ratios aproximados y datos estadísticos que permitan estimar esta cantidad.

La revista *iAgua Magazine* presenta en un artículo escrito por el ingeniero especialista en tratamiento y depuración de aguas Jorge Chamarro, los costes de mantenimiento y conservación de una EDAR en función del caudal medio diario que en ella se depura. Según esta fuente, el gasto en mantenimiento mínimo recomendado para la EDAR de Almassora antes y después de la implementación del presente proyecto, es:

	<i>Q (m³/d)</i>	<i>Costes de mantenimiento (€/año)</i>
<i>Inicialmente</i>	6382	58.000
<i>Nueva situación</i>	10361	77.000

Tabla 35 - Costes de mantenimiento en la EDAR Almassora antes y después de la ejecución del proyecto

Por tanto, el coste extra de mantenimiento es de 19.000 €/año.

21.2.3 COSTES DE EXPLOTACIÓN

En los costes de explotación únicamente se va a considerar el gasto derivado del consumo de electricidad extra que se tenga bajo la nueva situación de explotación. Este extra de electricidad se ha estimado como la suma de la potencia de la maquinaria descrita en el proyecto, sobredimensionada en un 70%, haciendo una potencia total de 75 kW.

Suponiendo que, en el peor de los casos, esta potencia es demandada durante 20 horas diarias, 365 días al año, considerando un coste medio de la energía de 0,11€/kWh, se tiene un coste total de explotación de 61.429,50 €/año.

21.2.4 AMORTIZACIÓN

Con el objetivo de compensar la pérdida de valor o depreciación que experimentan los elementos patrimoniales, se creará un fondo de amortización, de tal forma que al final de la vida útil del bien amortizado, la empresa podrá reponerlo con la acumulación de las dotaciones efectuadas.

En el presente estudio de viabilidad económica se considerará un periodo de amortización de 10 años, de modo que el gasto derivado de la amortización será de 117.573,13 €/año durante los primeros 10 años.

21.2.5 COSTE DE PERSONAL

Dado que actualmente la EDAR de Almassora cuenta con personal suficiente como para realizar adecuadamente las tareas de explotación y mantenimiento bajo la nueva situación de explotación, no se cree necesario ampliar el personal de la depuradora. Por tanto, el gasto de personal extra se considerará nulo en el estudio de viabilidad económica.

21.3 INGRESOS

En este caso los ingresos de la planta no son ingresos, sino ahorros respecto a una situación de explotación previa. La siguiente tabla recoge las distintas fuentes de ingreso del proyecto. En los siguientes subapartados se justifica la procedencia de cada uno de ellos.

Ahorro	€/año
Mantenimiento EDAR Vila-real	40.000,00
Explotación EDAR Vila-real	72.270,00
Personal EDAR Vila-real	106.400,00
Electricidad generada	104.390,00
Total:	323.060,00

Tabla 36 - Tabla resumen del ingreso medio anual

21.3.1 AHORRO DEL COSTE DE MANTENIMIENTO DE LA EDAR VILA-REAL

De forma similar a lo explicado en el punto 20.2.2 del estudio de viabilidad económica, los gastos de mantenimiento asociados a una EDAR con un caudal igual al de la EDAR Vila-real (3500 m³/día) son, según la estimación realizada en la revista *iAgua Magazine*, de 40.000 €/año.

21.3.2 AHORRO DEL COSTE DE EXPLOTACIÓN DE LA EDAR VILA-REAL

En los costes de explotación únicamente se va a considerar el consumo eléctrico de la planta depuradora. Suponiendo que se consume un 30% de la potencia instalada en la EDAR Vila-real, es decir, 90 kW, durante una media de 20 horas al día, 365 días al año, con un coste medio de la energía de 0,11 €/kWh, se tiene un coste de explotación total estimado de 72.270 €/año.

21.3.3 AHORRO DEL COSTE DE PERSONAL DE LA EDAR VILA-REAL

Actualmente la EDAR Vila-real cuenta con un total de 5 personas. El cargo de cada una de ellas así como el coste que percibe la empresa por tenerlos en nómina se recoge en la tabla siguiente:

Cargo	Coste que suponen a la empresa (€/año)
Jefe de planta	2.200*14
Jefe de mantenimiento	1.800*14
Operario 1	1200*14
Operario 2	1200*14
Operario 3	1200*14

Tabla 37 - Costes de personal en la EDAR Vila-real

Esto suma un coste total de 106.400 €.

21.3.4 AHORRO DE LA ENERGÍA GENERADA POR LAS MICROTURBINAS

La estimación de la energía generada por las microturbinas de cogeneración se ha llevado a cabo considerando que se consiguen generar los 130 kW de energía un tiempo promedio de 20h diarias los 365 días al año. Considerando que el precio medio de la energía es de 0,11 €/kWh, se tiene que el ahorro en electricidad será de 104.390 €/año.

21.4 ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA

El análisis de viabilidad se va a realizar para un periodo de 10 años, calculándose por tanto el VAN, TIR y PR para este periodo de tiempo.

Operando según el procedimiento descrito al inicio del capítulo, actualizando los gastos, ingresos y amortización con un IPC medio anual del 1,83%, y considerando un interés nominal del 2%, se obtiene la siguiente tabla:

Año	Gastos	Ingresos	B. Bruto	B. Neto	FC	VAN
0	1.175.731,27	-	-	-	-1.175.731,27	-1.175.731,27
1	206.930,44	328.986,64	122.056,20	91.542,15	211.272,19	-966.737,52
2	210.726,65	335.022,01	124.295,36	93.221,52	215.148,05	-756.204,93
3	214.592,50	341.168,09	126.575,59	94.931,70	219.095,01	-544.122,17
4	218.529,27	347.426,93	128.897,66	96.673,25	223.114,38	-330.477,83
5	222.538,26	353.800,59	131.262,33	98.446,75	227.207,48	-115.260,40
6	226.620,80	360.291,18	133.670,38	100.252,79	231.375,68	101.541,69
7	230.778,23	366.900,84	136.122,61	102.091,96	235.620,34	319.940,12
8	235.011,93	373.631,75	138.619,82	103.964,87	239.942,87	539.946,63
9	239.323,30	380.486,15	141.162,85	105.872,14	244.344,70	761.573,07
10	243.713,76	387.466,29	143.752,53	107.814,40	248.827,28	984.831,37

Tabla 38 - Análisis de viabilidad económica (en €)

Los indicadores de rentabilidad obtenidos son:

VAN	TIR (%)	PR
984.831,37	13,98	5,53

Tabla 39 - Indicadores de rentabilidad del proyecto

Un VAN positivo significa que se recuperará la inversión inicial y se tendrá más capital ejecutando el proyecto que poniendo el dinero a renta fija. En la tabla superior se observa que el VAN se hace positivo a partir del año 5, alcanzando casi el millón de euros en el año 10, lo que indica que el proyecto es una inversión rentable, con un periodo de retorno aceptable de 5,53 años. Si se quisiera recuperar la inversión inicial en un periodo de tiempo más corto se necesitaría la ayuda financiera de alguna subvención.

Por otro lado, un TIR del 13,98% indica que se está ante un proyecto empresarial rentable, ya que supone un retorno de la inversión que no puede ofrecer actualmente ningún tipo de interés presente en el mercado actual. Por tanto, del análisis de viabilidad económica se extrae que tanto el VAN, el TIR, como el PR encajan en el perfil de un proyecto de rentabilidad aceptable.

Si se estudia detenidamente la situación de explotación previa a la ejecución del proyecto, se observa que el gasto total derivado del funcionamiento de la EDAR Vila-real alcanza los 218.670 € anuales, lo que se traduce en más de 1 millón de euros transcurridos 5 años bajo esta situación.

Por lo tanto, resulta evidente la conveniencia de ejecutar el presente proyecto que, entre otras cosas, implica el cierre de la EDAR Vila-real y en consecuencia el ahorro del gasto asociada a ella, ya que, de lo contrario, en el transcurso de 5 años la empresa gastará una cantidad de dinero igual a la inversión que, de haber ejecutado el proyecto, se podría haber ahorrado e invertido en alcanzar una nueva situación de explotación más eficiente y, por tanto, económicamente más beneficiosa.

22. CONCLUSIÓN

El presente proyecto consiste en un proyecto de mejora de la situación de explotación de las EDAR Vila-real y Almassora, en busca de una nueva situación de funcionamiento que sea más eficiente y, a ser posible, más eficaz, obteniendo mejores resultados con menos recursos.

Para ello, en primer lugar se estudió la posibilidad de acoger las aguas residuales de la depuradora Vila-real en la depuradora de Almassora, para lograr así un mejor uso de las instalaciones existentes en Almassora a la par que se eliminaban los costes asociados al funcionamiento de la EDAR Vila-real. Tras el estudio, se determinó que únicamente con dos de las tres líneas de tratamiento de agua, y poniendo en funcionamiento los decantadores primarios, se podía funcionar correctamente bajo la nueva situación.

En segundo lugar, en busca de una mayor eficiencia en la digestión anaerobia de lodos, se barajó la posibilidad de acompañar la digestión de estos mediante algún tipo de co-sustrato. Tras la correspondiente búsqueda bibliográfica, la co-digestión de lodos y residuo orgánico bruto resultó ser la mejor alternativa, dado el elevado ratio de producción de metano y la alta disponibilidad de este co-sustrato.

En tercer lugar, dado que el digestor anaerobio existente había sido sobredimensionado desmesuradamente y presentaba un bajo rendimiento térmico y unas muy malas condiciones de digestión, se procedió a diseñar un nuevo digestor anaerobio acorde a las cantidades reales de sustrato a co-digerir, obteniendo unas pérdidas térmicas a través de los elementos constructivos muy reducidas, lo que propició que, ante la elevada cantidad de biogás producida gracias a la co-digestión de lodos y ROB, se valorase la posibilidad de implementar un sistema de aprovechamiento de biogás, decantándose finalmente por la cogeneración de autoconsumo.

Se valoraron entonces las distintas tecnologías presentes en los sistemas de cogeneración, decantándose finalmente por las microturbinas dado su bajo coste de mantenimiento, su capacidad de trabajar con bajos caudales y su alta tolerancia al SH₂, lo que se traduce en la ausencia de tratamientos secundarios sobre el biogás, abaratando así los costes de explotación. De esta forma se diseñó un sistema de aprovechamiento de biogás basado en microturbinas de cogeneración e intercambiadores de doble tubo tipo horquilla, que permitían transferir el calor de los gases de combustión al sustrato presente en el digestor.

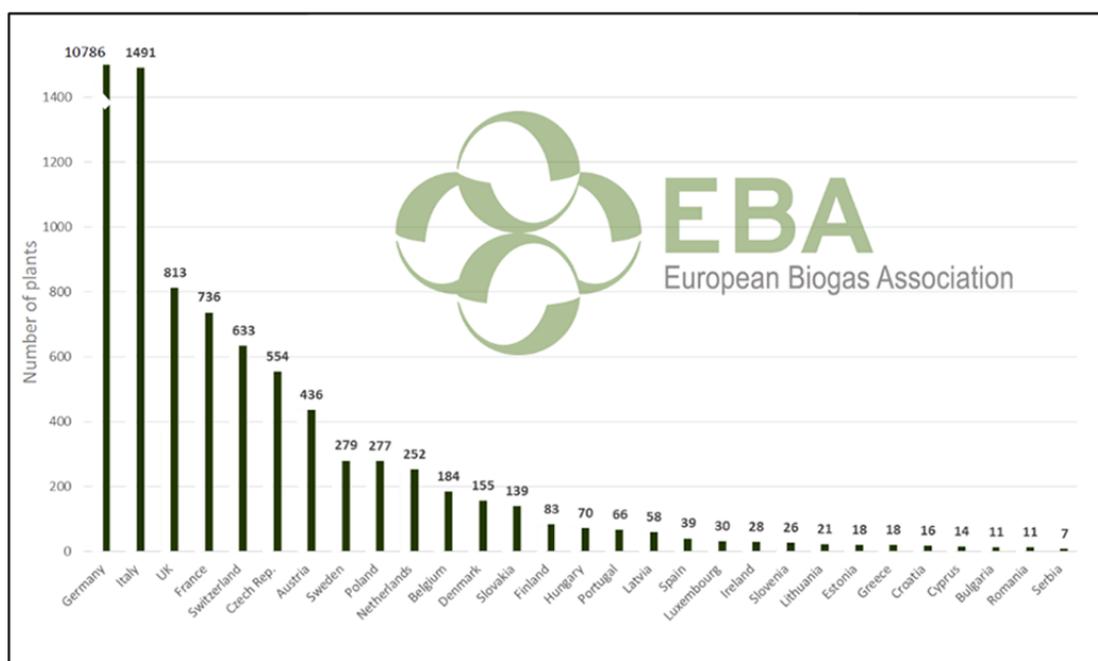
Finalmente se definieron las instalaciones auxiliares que permitían el funcionamiento del sistema en conjunto, como depósitos, equipos de bombeo, líneas de gas, conducciones eléctricas, así como el colector por gravedad que permitiera comunicar la EDAR Vila-real con la de Almassora.

Con todas estas medidas no sólo se consiguen unas condiciones de explotación que ofrecen una mayor eficiencia y por tanto mayor beneficio al empresario, sino que también se cumple una importante función medioambiental al promover la práctica de la co-digestión de lodos junto a otros biorresiduos, ya que esta cuenta con múltiples beneficios:

- La biometanización consiste en un proceso de estabilización de la materia orgánica presente en el sustrato, que puede interpretarse como la descontaminación del mismo, evitando así la posterior contaminación del suelo, aire o agua.
- El producto que se obtiene al final del proceso es un fertilizante natural de alta calidad.

- Permite reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles.
- Contribuye a la mitigación del cambio climático, pues las emisiones de CO₂ que se generan en el proceso de generación y combustión del biogás son iguales a la cantidad de CO₂ que requieren las plantas para crecer y producir recursos renovables.
- Comparado a otras energías renovables, el biogás se puede producir sin importar factores adversos como el clima u hora del día. Además, el uso de bacterias para producir combustible de alta calidad es una gran ventaja económica para países emergentes.

A nivel mundial el biogás representa uno de los recursos energéticos más sostenibles y con mayor potencial de crecimiento. Según el informe presentado en 2014 por la EBA (European Biogas Association), Alemania es la primera potencia europea en este sector, alcanzando las 10.700 plantas de producción de biogás, 2.000 más que en el año 2012. Destaca de igual manera el gran crecimiento de esta fuente renovable en Italia, país que consiguió hacer cambios en su legislación para poder introducir biogás en la red de gas natural y asegurar así su distribución.



17 240 biogas plants in Europe (31/12/2014)
Total installed capacity of 8 293 MW_{el}

A la vista de los datos disponibles, si bien es cierto que Europa cuenta con perspectivas de futuro muy positivas en lo que a producción de biogás respecta, sorprende el lento crecimiento experimentado en España a pesar de la gran cantidad de residuos agropecuarios disponibles.

El presente proyecto abre las puertas a considerar las plantas depuradoras de aguas residuales como potenciales plantas generadoras de biogás, mezclando lodos y otros biorresiduos en un proceso de co-digestión. Así, se puede lograr a la par el beneficio económico del empresario y el beneficio medioambiental de la comunidad.

A continuación, con el objetivo de reflejar el beneficio medioambiental que suponen proyectos como este, se cuantifica, mediante equivalencias, la cantidad de gases de efecto invernadero que se emitirían a la atmósfera si la energía eléctrica obtenida en las microturbinas no se obtuviera del biogás sino de la quema de combustibles fósiles.

Las emisiones correspondientes a 949.000 kWh* de energía generada a partir de combustibles fósiles equivalen a la suma de:



50.000 L de gasolina consumidos



100.000 kg de carbón quemados



1 millón de km recorridos por un coche promedio



180 barriles de petróleo consumidos

Fuente: Greenhouse Gas Equivalencies Calculator (Environmental Protection Agency)

* Energía eléctrica generada por dos microturbinas CAPSTONE C65 ICHP funcionando 20 horas diarias durante un año

Ilustración 50 - Equivalencia de las emisiones correspondientes a la energía generada por las microturbinas

Datos como los de la ilustración superior invitan a la reflexión sobre la importancia que se le debería otorgar a proyectos de este tipo, proyectos que promueven la sostenibilidad energética y reducen la dependencia energética de los combustibles fósiles. La importancia de estos proyectos debería de ir más allá del beneficio empresarial, ya que, seamos conscientes o no, vivimos en un planeta donde los recursos son finitos, y una buena gestión de los mismos marcará la diferencia del futuro de la humanidad.

23. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Calculadora: Caída de Presión en la Tubería para Gas. <http://www.tlv.com/global/LA/calculator/gas-pressure-loss-through-piping.html>
- [2] Cálculo por Manning de caudal y velocidad de flujo en tuberías a pendiente y sección dado. <http://www.hawsedc.com/engcalcs/Manning-Pipe-Flow.php?lang=es>
- [3] Gabriel Moncayo Romero, 2008. Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás. AquaLimpia Beratende Ingenieure.
- [4] Dohányos, M., Zábranská, J., Kutil, J., Jeníek, P., 2004. Improvement of anaerobic digestion of sludge. *Water Science and Technology* 49, 89e96.
- [5] Edelman, W., 2000. Co-digestion of organic solid waste and sludge from sewage treatment. *Water Science and Technology* 41, 213.
- [6] Enrique Márquez Pérez, 2016. Colectores: Dimensionamiento hidráulico de colectores, cunetas y caces. <http://www.emarquezia.com/colectores.-norma-5.2-ic.html>
- [7] EBA Biomethane & Biogas Report 2015 published. <http://european-biogas.eu/2015/12/16/biogasreport2015/>
- [8] Generador de precios CYPE Ingenieros S.A. <http://www.generadordeprecios.info/>
- [9] Hartmann, H., Angelidaki, I., Ahring, B.K., 2002. Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste types. In: Mata-Alvarez, J. (Ed.), *Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste*. IWA Publishing.
- [10] Heo, N., Park, S., Lee, J., Kang, H., Park, D., 2003. Single-stage anaerobic codigestion for mixture wastes of simulated Korean food waste and waste activated sludge. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 107, 567e579.
- [11] Kim, H.-W., Han, S.-K., Shin, H.-S., 2003. The optimisation of food waste addition as a co-substrate in anaerobic digestion of sewage sludge. *Waste Management Research* 21, 515e526.
- [12] Kim, S.-H., Han, S.-K., Shin, H.-S., 2004. Feasibility of biohydrogen production by anaerobic co-digestion of food waste and sewage sludge. *International Journal of Hydrogen Energy* 29, 1607e1616.
- [13] la Cour Jansen, J., Gruvberger, C., Hanner, N., Aspegren, H., Svärd, A., 2004. Digestion of sludge and organic waste in the sustainability concept for Malmö, Sweden. *Water Science and Technology* 49, 163.
- [14] Lebrato, J., Pérez-Rodríguez, J.L., Maqueda, C., 1995. Domestic solid waste and sewage improvement by anaerobic digestion: a stirred digester. *Resources, Conservation and Recycling* 13, 83e88.
- [15] Mata-Alvarez, J., Macé, S., Llabrés, P., 2000. Anaerobic digestion of organic solid wastes: an overview of research achievements and perspectives. *Bioresource Technology* 74, 3e16.
- [16] Mottet, A., François, E., Latrille, E., Steyer, J.P., Déléris, S., Vedrenne, F., Carrère, H., 2010. Estimating anaerobic biodegradability indicators for waste activated sludge. *Chemical Engineering Journal* 160, 488e496.

[17] Murto, M., Björnsson, L., Mattiasson, B., 2004. Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure. *Journal of Environmental Management* 70, 101e107.

[18] Pedro Jimenez Montoya, 2010. Hormigón Armado. Gustavo Gili. Barcelona.

[19] Purcell, B., Stentiford, E.I., 2006. Co-digestion e enhancing recovery of organic waste. *ORBIT Articles* 1, 1e6.

[20] Sosnowski, P., Klepacz-Smolka, A., Kaczorek, K., Ledakowicz, S., 2008. Kinetic investigations of methane co-fermentation of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes. *Bioresource Technology* 99, 5731e5737.

[21] Stroot, P.G., McMahon, K.D., Mackie, R.I., Raskin, L., 2001. Anaerobic codigestion of municipal solid waste and biosolids under various mixing conditions I: digester performance. *Water Research* 35, 1804e1816.

[22] Vega N. I., 2000. Evaluación de diferentes efluentes de cerdo como bioabono sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos de maíz (*zea mays* L.) y sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) y las propiedades químicas de los suelos.

Software utilizado:

- Arquímedes.
- *AutoCAD 2016*.
- *Colectores* de Enrique Márquez Pérez.
- *Greenhouse Gas Equivalences Calculator*.
- *TLV Engineering Calculator: gas pressure loss through piping*.

ANEXOS

ÍNDICE DE LOS ANEXOS

1. CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES A TRATAR	111
2. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN PRIMARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES	113
3. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES	115
4. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN SECUNDARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES.....	119
5. PRODUCCIÓN DE LODOS EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN	121
5.1. ESTIMACIÓN DE LODOS PRIMARIOS.....	121
5.2. ESTIMACIÓN DE LODOS SECUNDARIOS	121
5.3. CAUDAL DE LODOS A LA ENTRADA DEL DIGESTOR ANAEROBIO.....	122
6. ESTIMACIÓN DEL BIOGÁS PRODUCIDO	123
6.1. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD NECESARIA DE RESIDUO ORGÁNICO BIODEGRADABLE A CO-DIGERIR	123
6.2. SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES.....	124
6.3. BIOGÁS PRODUCIDO.....	124
7. DISEÑO DEL DIGESTOR ANAEROBIO	125
7.1. CONSIDERACIONES GENERALES	125
7.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE LODOS Y ROB A CO-DIGERIR EN EL DIGESTOR ANAEROBIO.....	126
7.3. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL DIGESTOR ANAEROBIO	127
8. POTENCIA TÉRMICA NECESARIA PARA CALEFACTAR EL DIGESTOR.....	129
8.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS A TRAVÉS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS	129
8.2. CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA TOTAL PARA ABASTECER LAS NECESIDADES TÉRMICAS DEL DIGESTOR.....	137
9. DIMENSIONADO DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS.....	139
9.1. MICROTURBINAS.....	139
9.2. SISTEMA DE AGITACIÓN DEL DIGESTOR ANAEROBIO	140
9.3. COMPRESOR DE PISTÓN	141
9.4. MOTORREDUCTOR	142

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 51 - ESQUEMA GRÁFICO DEL FUNCIONAMIENTO DE UN DIGESTOR ANAEROBIO MONOETAPA DE MEZCLA COMPLETA.....	125
ILUSTRACIÓN 52 - ESQUEMA DEL DIGESTOR ANAEROBIO MONOETAPA	127
ILUSTRACIÓN 53 - EXTRACTO DE LA TABLA B.1. DEL APÉNDICE B DE LA SECCIÓN HE 1 DEL DOCUMENTO CTE_DB-HE	129
ILUSTRACIÓN 54 - EXTRACTO DE LA TABLA 4 DEL DOCUMENTO DE APOYO DA DB-HE/1.....	130
ILUSTRACIÓN 55 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL HISTÓRICO DE VIENTOS EN EL MUNICIPIO DE ALMASSORA DESDE 1976 HASTA 2012.....	132
ILUSTRACIÓN 56 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL HISTÓRICO DE T ^A EN EL MUNICIPIO DE ALMASSORA DESDE 1976 HASTA 2012	133
ILUSTRACIÓN 57 - EXTRACTO DE LA TABLA 1 DEL DOCUMENTO DE APOYO DA DB-HE/1.....	135
ILUSTRACIÓN 58 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA POTENCIA TÉRMICA DISIPADA POR EL DIGESTOR EN DISTINTAS ÉPOCAS DEL AÑO	136
ILUSTRACIÓN 59 - MEDIDOR DE CALIDAD DE BIOGÁS MODELO.....	174
ILUSTRACIÓN 60 - COMPRESOR DE PISTÓN MODELO.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 40 – CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LAS EDAR DE ALMASSORA Y VILA-REAL	111
TABLA 41 - CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES A TRATAR	111
TABLA 42 - DIMENSIONES DE LOS DECANTADORES PRIMARIOS	113
TABLA 43 - COMPARATIVA DE LOS NUEVOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS DECANTADORES PRIMARIOS FRENTE A LOS DE DISEÑO	114
TABLA 44 - CARACTERÍSTICAS DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES	115
TABLA 45 - DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS	115
TABLA 46 - CONSUMOS ESPECÍFICOS DE OXÍGENO EN LOS REACTORES BIOLÓGICOS A DISTINTAS TEMPERATURAS	116
TABLA 47 - DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO DEL AIRE A APORTAR EN LOS REACTORES BIOLÓGICOS	117
TABLA 48 - COMPARATIVA DE LOS NUEVOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS FRENTE A LOS DE DISEÑO	118
TABLA 49 - DIMENSIONES DE LOS DECANTADORES SECUNDARIOS.....	119
TABLA 50 - COMPARATIVA DE LOS NUEVOS PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS DECANTADORES SECUNDARIOS FRENTE A LOS DE DISEÑO.....	120
TABLA 51 - DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO DE LOS LODOS 1º	121
TABLA 52 - DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO DE LOS LODOS 2º	122
TABLA 53 - RATIOS DE PRODUCCIÓN DE CH ₄ EN LA DIGESTIÓN MESOFÍLICA DE LODOS, ROB Y LODOS-ROB	123
TABLA 54 - DATOS DE PARTIDA PARA EL CÁLCULO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA LODO-ROB.....	126
TABLA 55 – POTENCIAS TÉRMICAS DISIPADAS EN EL DIGESTOR PARA EL CASO MÁS DESFAVORABLE.....	135
TABLA 56 - POTENCIAS TÉRMICAS DISIPADAS EN EL DIGESTOR EN INVIERNO	136
TABLA 57 - POTENCIAS TÉRMICAS DISIPADAS EN EL DIGESTOR EN PRIMAVERA/OTOÑO	136
TABLA 58 - POTENCIAS TÉRMICAS DISIPADAS EN EL DIGESTOR EN VERANO	136
TABLA 59 - INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN MONTAJE TIPO F SEGÚN LA ITC-BT-19	140
TABLA 60 - INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE EN MONTAJE TIPO D SEGÚN LA ITC-BT-19.....	141

1. CAUDAL Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES A TRATAR

Para la estimación del caudal de las aguas residuales a tratar, se ha partido de los datos publicados por la EPSAR en su página web. Sin embargo, la EPSAR no publica datos acerca del grado de contaminación de esas aguas, por lo que esta información ha tenido que ser facilitada personalmente por los jefes de planta de cada depuradora. Los datos se muestran en la siguiente tabla:

	EDAR ALMASSORA	EDAR VILA-REAL
Q ($m^3/día$)	6382	3486
DQO (mg/l)	500	600
DBO (mg/l)	250	280
SS (mg/l)	260	300
NKT (mg/l)	29	37
Fósforo (mg/l)	7	10

Tabla 40 – Caudal y características de las aguas residuales de las EDAR de Almassora y Vila-real

Dado que se pretende desviar la totalidad del caudal de la EDAR Vila-real a la depuradora de Almassora, el caudal total se obtendrá como la suma de ambos caudales. No obstante, puesto que los datos partida están desactualizados y en vista a un posible aumento del caudal, se sobredimensionará un 5% para considerar el posible aumento de población y de la actividad industrial.

$$Q_{total} = 1,05 \cdot (6382 + 3486) = 10361,4 \text{ m}^3 / \text{día}$$

La contaminación media de las aguas residuales se obtendrá a partir de la expresión siguiente:

$$[]_{total} = \frac{[]_{Almazora} \cdot Q_{Almazora} + []_{villarreal} \cdot Q_{villarreal}}{Q_{Almazora} + Q_{villarreal}}$$

Por tanto, las características de las aguas que llegarán a cabecera de planta, resultantes de mezclar las aguas de Almassora y Vila-real, serán:

	TOTAL
Q ($m^3/día$)	10361,4
DQO (mg/l)	535,326
DBO (mg/l)	260,598
SS (mg/l)	274,131
NKT (mg/l)	31,826
Fósforo (mg/l)	8,06

Tabla 41 - Caudal y características de las aguas residuales a tratar

2. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN PRIMARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES

- Conducción de agua hacia los decantadores primarios:

Se alimentan directamente desde la cámara de salida del correspondiente tanque de floculación. La conducción a cada decantados se realiza a través de tubería de 450 mm de diámetro.

- Dimensiones de los decantadores primarios:

Base del decantador (b)	2,00 m
Calado en la vertical del vertedero (c)	3,50 m
Altura cónica del fondo (hc)	0,50 m
Altura libre entre la lámina de agua y la coronación	0,50 m
Diámetro del decantador (ϕ)	14,50 m

Tabla 42 - Dimensiones de los decantadores primarios

- Superficie de decantación:

$$S = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 = 165,13 \text{ m}^2$$

- Volumen útil:

$$V = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \cdot c + \frac{\pi \cdot hc}{3} \cdot \left[\left(\frac{\phi}{2}\right)^2 + b^2 + \frac{\phi}{2} \cdot b\right] = 615,163 \text{ m}^3$$

- Longitud del vertido de agua:

$$L_{\text{vertido agua}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi}{2} = 45,55 \text{ m}$$

- Velocidad ascensorial:

$$V_{\text{ascensorial}} = \frac{\frac{Q_{\text{med}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{2}}{S \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{\frac{430 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{2}}{165,13 \text{ (m}^2\text{)}} = 1,30 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

- Velocidad de vertido:

$$V_{\text{vertido}} = \frac{\frac{Q_{\text{med}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{2}}{L_{\text{vertido agua}} \text{ (m)}} = \frac{\frac{430 \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{2}}{45,55 \text{ (m)}} = 4,72 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}_{\text{lineal}}}$$

- Tiempo de retención hidráulica:

$$TR = \frac{V(m^3)}{\frac{Q_{med}}{2} \left(\frac{m^3}{h}\right)} = \frac{615,163(m^3)}{\frac{430}{2} \left(\frac{m^3}{h}\right)} = 2,86 \text{ horas}$$

- Reducción prevista de sólidos suspendidos:

Se estima como el 60% de los sólidos contenidos en el influente

$$Carga \text{ S.S. dec } 1^a = 0,6 \cdot Carga \text{ S.S. } \left(\frac{kg}{día}\right) = 0,6 \cdot 2840 = 1704 \frac{kg}{día}$$

- Reducción prevista de DBO₅:

Se estima como el 30% de la DBO₅ presente en el influente

$$Carga \text{ DBO}_5 \text{ dec } 1^a = 0,3 \cdot Carga \text{ DBO}_5 \left(\frac{kg}{día}\right) = 0,3 \cdot 2700 = 810 \frac{kg}{día}$$

- Reducción prevista de NKT:

Se estima como el 10% de la NKNT presente en el influente

$$Carga \text{ NKT dec } 1^a = 0,1 \cdot Carga \text{ NKT } \left(\frac{kg}{día}\right) = 0,1 \cdot 330 = 33 \frac{kg}{día}$$

La siguiente tabla compara los nuevos valores de funcionamiento frente a los de diseño:

<i>Parámetros de funcionamiento:</i>	<i>Dimensionado inicial</i>	<i>Nueva situación</i>
<i>Velocidad ascensorial (m/h)</i>	1,14	1,30
<i>Velocidad de vertido (m³/h/m_{lineal})</i>	4,12	4,72
<i>Tiempo de retención (h)</i>	3,28	2,86
<i>Reducción prevista de S.S (kg/día)</i>	7650	1704
<i>Reducción prevista DBO₅ (kg/día)</i>	5400	810
<i>Reducción prevista NKT (kg/día)</i>	36	33

Tabla 43 - Comparativa de los nuevos parámetros de funcionamiento de los decantadores primarios frente a los de diseño

Se observa que, al tratar con un caudal medio superior a los 9000 m³/día de diseño, las velocidades aumentan y el tiempo de retención disminuye. No obstante, estos valores siguen estando dentro del tiempo de retención mínimo aconsejado de 2 horas.

También se comprueba que la carga orgánica de las aguas a tratar es considerablemente inferior a los valores tomados en su diseño, por lo que los decantadores pueden funcionar correctamente bajo las nuevas condiciones de funcionamiento.

3. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS REACTORES BIOLÓGICOS DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES

El tratamiento biológico se lleva a cabo mediante el proceso de lodos activos con nitrificación y desnitrificación por medio de una zona óxica y otra anóxica. La zona anóxica, presente en la cabecera del tanque, recibe el agua bruta, la recirculación de lodos activos desde la decantación secundaria y el licor mixto recirculado.

Los nitratos se producen en la zona aireada del tanque, transformándose biológicamente en NTK. Mediante la circulación interna se envían los nitratos producidos en la zona óxica a cabecera, produciéndose entonces en la zona anóxica un cambio en los nitratos, pasando a nitrógeno gaseoso y dióxido de carbono.

El dimensionado y el cálculo de parámetros se lleva a cabo siguiendo la norma A-131 de la ATV (Asociación Alemana para las Técnicas de Tratamiento de Agua Residual).

- Dimensiones de la zona anóxica y la zona óxica en cada reactor:

Cada reactor biológico consta de tres carriles, un carril para la zona anóxica y dos carriles para la óxica, haciendo un total de 735 m³ de zona anóxica y 1470 m³ de óxica por reactor.

<i>Características:</i>	<i>Zona anóxica</i>	<i>Zona óxica</i>
<i>Longitud (m)</i>	28,00	28,00
<i>Profundidad (m)</i>	5,00	5,00
<i>Altura libre (m)</i>	0,60	0,60
<i>Anchura (m)</i>	5,25	5,25
<i>Volumen carril (m³)</i>	735	735
<i>Número de carriles</i>	1	2
<i>Volumen total (m³)</i>	735	1470

Tabla 44 - Características de los reactores biológicos de las líneas industriales

- Datos de partida:

<i>Volumen del reactor (V_R)</i>	2205 m ³
<i>Carga DBO₅ a la entrada del trat. biológico</i>	1890 kg/día
<i>Carga SS a la entrada del trat. biológico</i>	1136 kg/día
<i>Concentración de sólidos en el reactor (ST_R)</i>	3,5 kg/m ³
<i>Edad del lodo (E_f)</i>	7,7 días

Tabla 45 - Datos de partida para el cálculo de los parámetros de funcionamiento de los reactores biológicos

- Carga másica:

$$CM = \frac{\text{Carga DBO}_5 \left(\frac{\text{kg DBO}_5}{\text{día}} \right)}{ST_R \left(\frac{\text{kg ST}}{\text{m}^3} \right) \cdot V_R (\text{m}^3)} = \frac{1890 \left(\frac{\text{kg DBO}_5}{\text{día}} \right)}{3,5 \left(\frac{\text{kg ST}}{\text{m}^3} \right) \cdot 2205 (\text{m}^3)} = 0,225 \frac{\text{kg DBO}_5}{\text{kg ST} \cdot \text{día}}$$

- Carga volumétrica:

$$CV = CM \left(\frac{kg\ DBO_5}{kg\ ST \cdot día} \right) \cdot ST_R \left(\frac{kg\ ST}{m^3} \right) = 0,225 \cdot 3,5 = 0,7875 \frac{kg\ DBO_5}{m^3 \cdot día}$$

- Tiempo de retención hidráulica

$$TR = \frac{V_R(m^3)}{\frac{Q_{med}(m^3)}{2} \left(\frac{m^3}{h} \right)} = \frac{2205(m^3)}{\frac{430}{2} \left(\frac{m^3}{h} \right)} = 10,26\ horas$$

- Necesidad de oxígeno:

El consumo de oxígeno que necesitan los microorganismos durante la depuración de las aguas residuales, viene determinado por la descomposición de los compuestos de carbono y por la oxidación de los compuestos de nitrógeno. Dado que la carga orgánica del agua a tratar está muy por debajo de los valores de diseño, es de esperar que el sistema de aireación ya existente pueda suministrar sobradamente las necesidades de oxígeno de los microorganismos.

La necesidad de oxígeno varía en función de la temperatura ambiente. Dado que la EDAR de Almassora está ubicada en un lugar con un clima mediterráneo, se pueden fijar para su cálculo las siguientes temperaturas:

- Temperatura mínima, T_{min} : 14,00 °C
- Temperatura máxima, T_{max} : 22,00 °C

- Demanda de oxígeno debida a la degradación de compuestos carbónicos a 14 °C:

$$O_C = \frac{0,144 \cdot E_f \cdot 1,072^{T-15}}{1 + E_f \cdot 0,08 \cdot 1,072^{T-15}} + 0,5 = \frac{0,144 \cdot 7,7 \cdot 1,072^{14-15}}{1 + 7,7 \cdot 0,08 \cdot 1,072^{14-15}} + 0,5 = 1,16 \frac{kg\ O_2}{kg\ DBO_5}$$

- Demanda de oxígeno debida a la degradación de compuestos carbónicos a 22 °C:

$$O_C = \frac{0,144 \cdot E_f \cdot 1,072^{T-15}}{1 + E_f \cdot 0,08 \cdot 1,072^{T-15}} + 0,5 = \frac{0,144 \cdot 7,7 \cdot 1,072^{22-15}}{1 + 7,7 \cdot 0,08 \cdot 1,072^{22-15}} + 0,5 = 1,40 \frac{kg\ O_2}{kg\ DBO_5}$$

- Demanda de oxígeno debida a la nitrificación/desnitrificación:

Debido a la falta de datos, se ha estimado un valor constante en base a otros proyectos de magnitud similar.

$$O_N \cong 0,1 \frac{kg\ O_2}{kg\ DBO_5}$$

En la tabla siguiente se recogen los consumos específicos de oxígeno para ambas temperaturas consideradas:

	O_C (kgO ₂ /kgDBO ₅)	O_N (kgO ₂ /kgDBO ₅)	O_{TOTAL} (kgO ₂ /kgDBO ₅)
Temperatura → 14 °C	1,16	0,1	1,26
Temperatura → 22 °C	1,40	0,1	1,50

Tabla 46 - Consumos específicos de oxígeno en los reactores biológicos a distintas temperaturas

La demanda media horaria de oxígeno se calcula como:

$$A 14\text{ °C} : Q_{O_2, \text{medio}} = 1,26 \left(\frac{\text{kg } O_2}{\text{kg } DBO_5} \right) \cdot \frac{1890 \left(\frac{\text{kg } DBO_5}{\text{día}} \right)}{24 \text{ horas}} = 99,225 \frac{\text{kg } O_2}{h}$$

$$A 22\text{ °C} : Q_{O_2, \text{medio}} = 1,50 \left(\frac{\text{kg } O_2}{\text{kg } DBO_5} \right) \cdot \frac{1890 \left(\frac{\text{kg } DBO_5}{\text{día}} \right)}{24 \text{ horas}} = 118,125 \frac{\text{kg } O_2}{h}$$

La demanda punta horaria se calcula a partir de un factor multiplicador, estimado en 1,33:

$$A 14\text{ °C} : Q_{O_2, \text{punta}} = 1,33 \cdot 99,225 \left(\frac{\text{kg } O_2}{h} \right) = 131,97 \frac{\text{kg } O_2}{h}$$

$$A 22\text{ °C} : Q_{O_2, \text{punta}} = 1,33 \cdot 118,125 \left(\frac{\text{kg } O_2}{h} \right) = 157,11 \frac{\text{kg } O_2}{h}$$

- Cálculo del aire a aportar:

Según la norma A-131 de la ATV (Asociación Alemana para las Técnicas de Tratamiento de Agua Residual) conjuntamente con criterios de buena praxis, se obtienen los siguientes parámetros de cálculo:

Factor de correlación de saturación (B)	0,95
Concentración de O ₂ en el reactor (C _R)	2 mg/l
Saturación en condiciones estándar (C)	9,20 mg/l
Concentración en saturación a 14 °C (C _{S,14})	10,37 mg/l
Concentración en saturación a 22 °C (C _{S,22})	8,33 mg/l
Eficiencia en la aportación de O ₂	24 %
Contenido en O ₂	23 %
Densidad (ρ)	1,20 kg/m ³

Tabla 47 - Datos de partida para el cálculo del aire a aportar en los reactores biológicos

Como ya se ha visto en el apartado anterior, el caudal de aire variará dependiendo de la temperatura tomada, que se sitúa entre los 14 y los 22 °C.

- Para una temperatura en el reactor de 14 °C:

$$\text{Factor de correlación} \rightarrow F_{COR} = 1,024^{(T-20)} = 0,87$$

$$\text{Coeficiente global} \rightarrow C_g = \frac{B \cdot C_{S,14} - C_R}{C} \cdot F_{COR} \cdot 0,65 = 0,48$$

$$\text{Cantidad de aire} \rightarrow C_{AIRE,14} = \frac{Q_{O_2, \text{medio}}(14\text{ °C})}{C_g \cdot 0,24 \cdot 0,23 \cdot \rho} = 3120,75 \frac{\text{m}^3 \text{ aire}}{h}$$

- Para una temperatura en el reactor de 22 °C:

$$\text{Factor de correlación} \rightarrow F_{COR} = 1,024^{(T-20)} = 1,05$$

$$\text{Coeficiente global} \rightarrow C_g = \frac{B \cdot C_{S,22} - C_R}{C} \cdot F_{COR} \cdot 0,65 = 0,472$$

$$\text{Cantidad de aire} \rightarrow C_{AIRE,22} = \frac{Q_{O_2,medio}(22^\circ C)}{C_g \cdot 0,24 \cdot 0,23 \cdot \rho} = 3778,15 \frac{m^3 \text{ aire}}{h}$$

- Sistema de aireación:

Actualmente, el sistema de suministro de aire en los tanques de aireación (tanto de la línea industrial como de la doméstica) se realiza por medio de 4 motosoplantes, una en reserva, de 4300 m³/h por soplante. Las soplantes suministran a 3 parrillas, con un total de 430 difusores autocompensantes de burbuja fina. La variación de caudal se realiza de forma automática, mediante el funcionamiento de más o menos motosoplantes y de su caudal unitario, y a través de una válvula reguladora de tipo mariposa motorizada. Ésta actúa según una señal recibida del correspondiente medidor de O₂ disuelto.

- Sistema de agitación:

Para evitar la sedimentación en los tanques anóxicos, se dispone de 4 agitadores sumergibles, de 0,40 m de tamaño de hélice, capaces de reciclar un caudal de 0,2 m³/s, con una potencia de 2kW.

La siguiente tabla compara los nuevos valores de funcionamiento frente a los de diseño:

<i>Parámetros de funcionamiento:</i>	<i>Dimensionado inicial</i>	<i>Nueva situación</i>
<i>Carga másica (kgDBO₅ / kgST·día)</i>	0,206	0,225
<i>Carga volumétrica (kgDBO₅ / m³·día)</i>	0,62	0,7875
<i>Tiempo de retención (h)</i>	11,76	10,26
<i>Edad del lodo (días)</i>	7,7	7,7
<i>Demanda media horaria a 22°C (KgO₂/h)</i>	224	118,125
<i>Demanda punta horaria a 22°C (KgO₂/h)</i>	293	167,11
<i>Cantidad de aire a 22°C (m³_{aire}/día)</i>	6624,36	3778,15

Tabla 48 - Comparativa de los nuevos parámetros de funcionamiento de los reactores biológicos frente a los de diseño

4. CARACTERÍSTICAS Y PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE LOS TANQUES DE DECANTACIÓN SECUNDARIA DE LAS LÍNEAS INDUSTRIALES

- Dimensiones de los decantadores secundarios:

Base del decantador (<i>b</i>)	2,00 m
Calado en la vertical del vertedero (<i>c</i>)	3,80 m
Altura cónica del fondo (<i>hc</i>)	0,75 m
Altura libre entre la lámina de agua y la coronación	0,50 m
Diámetro del decantador (ϕ)	21,00 m

Tabla 49 - Dimensiones de los decantadores secundarios

- Superficie de decantación:

$$S = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 = 346,36 \text{ m}^2$$

- Volumen útil:

$$V = \pi \cdot \left(\frac{\phi}{2}\right)^2 \cdot c + \frac{\pi \cdot hc}{3} \cdot \left[\left(\frac{\phi}{2}\right)^2 + b^2 + \frac{\phi}{2} \cdot b\right] = 1422,40 \text{ m}^3$$

- Longitud del vertido de agua:

$$L_{\text{vertido agua}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\phi}{2} = 65,97 \text{ m}$$

- Velocidad ascensorial:

$$V_{\text{ascensorial}} = \frac{\frac{Q_{\text{med}}}{2} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{S \text{ (m}^2\text{)}} = \frac{\frac{430}{2} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{346,36 \text{ (m}^2\text{)}} = 0,621 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

- Velocidad de vertido:

$$V_{\text{vertido}} = \frac{\frac{Q_{\text{med}}}{2} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{L_{\text{vertido agua}} \text{ (m)}} = \frac{\frac{430}{2} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)}{65,97 \text{ (m)}} = 3,26 \frac{\text{m}^3}{\text{h} \cdot \text{m}_{\text{lineal}}}$$

- Tiempo de retención hidráulica:

$$TR = \frac{V \text{ (m}^3\text{)}}{\frac{Q_{\text{med}}}{2} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)} = \frac{1422,40 \text{ (m}^3\text{)}}{\frac{430}{2} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{h}}\right)} = 6,62 \text{ horas}$$

La siguiente tabla compara los nuevos valores de funcionamiento frente a los de diseño:

<i>Parámetros de funcionamiento:</i>	<i>Dimensionado inicial</i>	<i>Nueva situación</i>
<i>Velocidad ascensorial (m/h)</i>	0,541	0,621
<i>Velocidad de vertido (m³/h/m_{lineal})</i>	2,84	3,26
<i>Tiempo de retención (h)</i>	7,59	6,62

Tabla 50 - Comparativa de los nuevos parámetros de funcionamiento de los decantadores secundarios frente a los de diseño

Al igual que en los tanques de decantación primaria, se observa que, al tratar con un caudal medio superior a los 9000 m³/día de diseño, las velocidades aumentan y el tiempo de retención disminuye. No obstante, estos valores siguen estando dentro del tiempo de retención mínimo aconsejado de 2 horas.

5. PRODUCCIÓN DE LODOS EN EL PROCESO DE DEPURACIÓN

La línea de fangos de una EDAR tiene su origen en los tanques de decantación primaria y secundaria, en los que gran parte de la carga contaminante presente en las aguas deposita en el fondo, obteniéndose un subproducto denominado lodo que es una concentración de dicha carga contaminante.

5.1. ESTIMACIÓN DE LODOS PRIMARIOS

La estimación de los lodos generados en los decantadores primarios, se realiza a partir de la reducción de sólidos suspendidos que en ellos tiene lugar, que se estima en un 60% de los sólidos contenidos en el influente. Sin embargo, el subproducto que se obtiene sigue siendo en su mayoría agua, con una humedad generalmente del 98,5%.

$$Carga\ S.S.\ dec\ 1^a = 0,6 \cdot Carga\ S.S. \left(\frac{kg}{día} \right) = 0,6 \cdot 2840 = 1704 \frac{kg}{día}$$

El caudal total de lodo a purgar desde la decantación primaria al pre-espesador se calcula a partir de su humedad y de su densidad:

<i>Datos de partida:</i>	
<i>Carga S.S. dec 1ª (S.S.1)</i>	1704 (kg/día)
<i>Humedad (HR)</i>	98,5 %
<i>Densidad (ρ)</i>	1015 (kg/m ³)

Tabla 51 - Datos de partida para el cálculo de los lodos 1º

$$Fangos\ 1^o = \frac{S.S.\ 1 \left(\frac{kg}{día} \right)}{\frac{100 - HR}{100} \cdot \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = \frac{1704 \left(\frac{kg}{día} \right)}{\frac{1,5}{100} \cdot 1015 \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = 111,94 \frac{m^3}{día}$$

5.2. ESTIMACIÓN DE LODOS SECUNDARIOS

Para hallar la producción de sólidos secundarios en exceso, se valorará a partir de la cantidad de DBO₅ entrante en el reactor biológico. Lo más común es adoptar un criterio conservador, de modo que a 0,66 kg de sólidos le corresponde 1 kg de DBO₅ entrante.

Dado que en la decantación primaria la DBO₅ se reduce en un 30%, al reactor biológico únicamente llega el 70% restante.

$$Carga\ DBO_5\ reactor = 0,7 \cdot Carga\ DBO_5 \left(\frac{kg}{día} \right) = 0,7 \cdot 2700 = 1890 \frac{kg}{día}$$

Por tanto:

$$Carga\ S.S.\ dec\ 2^a = 0,66 \cdot Carga\ DBO_5\ reactor \left(\frac{kg}{día} \right) = 0,66 \cdot 1890 = 1247,5 \frac{kg}{día}$$

El caudal total de lodo a purgar desde la decantación secundaria al pre-espesador se calcula a partir de su humedad y de su densidad:

Datos de partida:

Carga S.S. dec 2ª (S.S.2)	1247,5 (kg/día)
Humedad (HR)	98,5 %
Densidad (ρ)	1015 (kg/m ³)

Tabla 52 - Datos de partida para el cálculo de los lodos 2º

$$Fangos\ 2^\circ = \frac{S.S.\ 2\left(\frac{kg}{día}\right)}{\frac{100 - HR}{100} \cdot \rho\left(\frac{kg}{m^3}\right)} = \frac{1247,5\left(\frac{kg}{día}\right)}{1,5 \cdot 1015\left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 81,94\ \frac{m^3}{día}$$

5.3. CAUDAL DE LODOS A LA ENTRADA DEL DIGESTOR ANAEROBIO

El caudal de lodos que llega al pre-espesador es:

$$Fangos\ espesador = Fangos\ 1^\circ + Fangos\ 2^\circ = 193,88\ \frac{m^3}{día}$$

Tras su paso por el pre-espesador, los lodos disminuyen ligeramente su contenido en humedad hasta un 95%, adquiriendo una densidad de 1050 kg/m³. El caudal que finalmente llega al digestor es considerablemente inferior al inicial:

$$Fangos\ digestor = \frac{S.S.\ 1 + S.S.\ 2\left(\frac{kg}{día}\right)}{\frac{100 - 95}{100} \cdot 1050\left(\frac{kg}{m^3}\right)} = \frac{2951,5\left(\frac{kg}{día}\right)}{\frac{5}{100} \cdot 1050\left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 56,22\ \frac{m^3}{día}$$

6. ESTIMACIÓN DEL BIOGÁS PRODUCIDO

El ratio de producción de biogás en la co-digestión de lodos y ROB ha sido ampliamente estudiado y publicado en artículos científicos, demostrando ser mayor que el obtenido para la digestión de lodos como único sustrato.

<i>Sustrato</i>	<i>Producción CH₄</i>	<i>Referencia</i>
<i>Lodos</i>	0,116	(Kim et al., 2003)
<i>Lodos (50% SV) + ROB (50% SV)</i>	0,215	(Kim et al., 2003)
<i>Lodos</i>	0,318	(Sosnowski et al., 2008)
<i>ROB</i>	0,234	(Sosnowski et al., 2008)
<i>Lodos (75% MS) + ROB (25% MS)</i>	0,439	(Sosnowski et al., 2008)
<i>Lodos</i>	0,269	(la Cour Jansen et al., 2004)
<i>ROB</i>	0,395	(la Cour Jansen et al., 2004)
<i>Lodos (80% SV) + ROB (20% SV)</i>	0,326	(la Cour Jansen et al., 2004)

Tabla 53 - Ratios de producción de CH₄ en la digestión mesofílica de lodos, ROB y lodos-ROB

En el presente proyecto, con el objetivo de reflejar esta variación en la composición de los ROB, los cálculos se han realizado considerando tres posibles ratios de producción: 0,32 como el más conservador, 0,38 y finalmente 0,44 para el caso más favorable. La proporción de mezcla será en base a la materia seca, con un 75% de lodos y un 25% de ROB (Sosnowski et al., 2008).

6.1. ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD NECESARIA DE RESIDUO ORGÁNICO BIODEGRADABLE A CO-DIGERIR

La cantidad de ROB a digerir dependerá de la cantidad de lodos que se generen en la EDAR, de tal manera que se consiga una proporción en peso seco del 75% lodos y 25% ROB.

El peso seco de lodos se puede obtener directamente a partir de la carga de S.S. calculada en apartados anteriores.

$$M_{Seca\ LODOS} = S.S.1 + S.S.2 = 1704 + 1247,5 = 2951,5 \left(\frac{kg}{día} \right)$$

Por tanto, el peso seco de ROB necesario para tener una relación 75:25 será:

$$\begin{cases} M_{Seca\ LODOS} = 0,75 \cdot M_{Seca\ TOTAL} \\ M_{Seca\ ROB} = 0,25 \cdot M_{Seca\ TOTAL} \end{cases} \rightarrow M_{Seca\ ROB} = \frac{M_{Seca\ LODOS}}{0,75} \cdot 0,25$$

Sustituyendo:

$$M_{Seca\ ROB} = 984 \frac{kg}{día}$$

Expresando esta cantidad en peso húmedo se obtiene la cantidad de ROB real a introducir en el digestor. Para ello, es necesario conocer la sequedad del ROB. Experimentalmente se ha determinado en un valor medio del 21%. Por tanto:

$$M_{Humeda\ ROB} = \frac{984}{0,21} = 4685,7 \frac{kg\ ROB}{día}$$

6.2. SÓLIDOS VOLÁTILES TOTALES

Dado que el ratio de producción de metano, CH₄, está expresado en función de los kg de sólidos volátiles, para estimar la cantidad de biogás producido es necesario conocer la fracción volátil de cada sustrato que se va a co-digerir.

A la hora de determinar la fracción volátil de los lodos, se han tomado los valores típicos de diseño de 0,6 para la carga obtenida en la decantación primaria, y 0,8 para la decantación secundaria:

$$SV_{Lodos\ 1^o} = 0,6 \cdot S.S.1 \left(\frac{kg}{día} \right) = 0,6 \cdot 1704 \left(\frac{kg}{día} \right) = 1022,4 \frac{kg\ SV\ 1^o}{día}$$

$$SV_{Lodos\ 2^o} = 0,8 \cdot S.S.2 \left(\frac{kg}{día} \right) = 0,8 \cdot 1247,5 \left(\frac{kg}{día} \right) = 998 \frac{kg\ SV\ 2^o}{día}$$

La fracción volátil del ROB se determinó de forma experimental en un laboratorio, obteniendo un valor medio de 0,7717. Así, a partir del peso seco de ROB, se tiene que los sólidos volátiles de ROB serán:

$$SV_{ROB} = 0,7717 \cdot M_{Seca\ ROB} = 0,7717 \cdot 984 = 759,4 \frac{kg\ SV\ ROB}{día}$$

La suma de estos tres valores calculados hace un total de:

$$SV_{TOTAL} = SV_{Lodos\ 1^o} + SV_{Lodos\ 2^o} + SV_{ROB} = 2779,8 \frac{kg\ SV}{día}$$

6.3. BIOGÁS PRODUCIDO

La cantidad de biogás producido dependerá de la concentración media de metano en él, supuesta en un 50%, y del ratio de producción de metano considerado. La cantidad de CH₄ se obtiene como:

$$Cantidad\ CH_4 \left(\frac{Nm^3\ CH_4}{día} \right) = \frac{Ratio_{PRODUCCIÓN} \left(\frac{L}{kg\ SV} \right) \cdot SV_{TOTAL} \left(\frac{kg\ SV}{día} \right)}{1000 \left(\frac{L}{Nm^3} \right)}$$

Y la cantidad de biogás como:

$$Cantidad\ Biogás \left(\frac{Nm^3\ biogás}{día} \right) = \frac{Cantidad\ CH_4 \left(\frac{Nm^3\ CH_4}{día} \right)}{0,5 \left(\frac{Nm^3\ CH_4}{Nm^3\ biogás} \right)}$$

7. DISEÑO DEL DIGESTOR ANAEROBIO

7.1. CONSIDERACIONES GENERALES

El digestor será continuo, de construcción vertical y de mezcla completa (RMC), manteniendo una distribución uniforme de concentraciones gracias a un sistema de agitación mecánica mediante agitadores horizontales de montaje lateral. Además, el digestor contará con dos entradas para los dos tipos de sustratos a co-digerir, y con tres salidas, una para el fango digerido, otra para la recirculación y calefacción del sustrato y una tercera para el biogás producido.

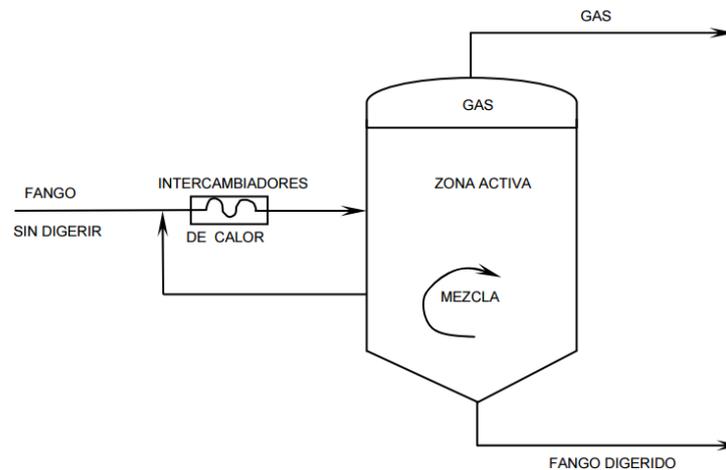


Ilustración 51 - Esquema gráfico del funcionamiento de un digestor anaerobio monoetapa de mezcla completa

La digestión se realizará a temperatura mesofílica (entre 25 y 45°C), concretamente a 35°C, y el pH se mantendrá entre 6,2 y 8,3, ya que los microorganismos anaerobios necesitan un pH en torno a la neutralidad para su correcto desarrollo.

Por lo general, los digestores cuentan con una zona denominada zona de resguardo, que sirve para evitar problemas con las posibles espumas y costras que se puedan generar, o también para evitar problemas con excedentes de sustratos. Dicha zona suele tener entre 0,5 y 1 m de altura. En este proyecto se considerará una zona de resguardo de 0,5 m.

El digestor se dividirá en tres zonas: zona de la solera, que estructuralmente constituye la base del digestor; zona de la digestión, que estructuralmente constituye las paredes del digestor y zona de la cúpula, que estructuralmente constituye la cubierta del digestor:

- La **solera** está bajo suelo y está construida con hormigón armado, una capa de hormigón de limpieza y una capa de panel rígido de poliestireno extruido.
- Las **paredes** del digestor están formadas por hormigón armado en el interior, seguidos de una capa aislante de lana de vidrio y recubiertos en el exterior por unas chapas.
- La **cúpula** está formada por un panel sándwich con aislante de poliuretano, cuya función es la de aislar térmicamente el digestor y protegerlo de las condiciones climatológicas.

El tiempo de retención hidráulico (THR) del digestor es un parámetro muy importante ya que la fracción de materia orgánica degradada aumenta con el TRH, sin embargo, la producción volumétrica de metano disminuye una vez superado el óptimo. Es por tanto necesario determinar para cada tipo de residuo y de digestor el tiempo de retención que optimiza el proceso.

En este proyecto se tomará como TRH 18 días en base a las curvas de generación de biogás observadas en el ensayo de cogeneración de lodos y ROB dirigido por Sosnowski en su artículo *Kinetic investigations of methane co-fermentation of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes* (Sosnowski et al., 2008).

7.2. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA DE LODOS Y ROB A CO-DIGERIR EN EL DIGESTOR ANAEROBIO

El cálculo de las dimensiones del digestor anaerobio se lleva a cabo a partir del caudal y las características resultantes de la mezcla de lodos y ROB para las cantidades indicadas en el punto 7 del Anexo.

- Datos de partida:

Peso húmedo de lodos	59031 kg/día
Peso húmedo de ROB	4685,7 kg/día
% Sequedad lodos	5 %
% Sequedad ROB	21 %
% Cenizas lodos	1,87 %
% Cenizas ROB	23 %

Tabla 54 - Datos de partida para el cálculo de las características de la mezcla lodo-ROB

- Caudal total:

$$Q_{TOTAL} = Q_{fangos} + Q_{ROB} = 56,22 \frac{m^3}{día} + \frac{4685,7 \left(\frac{kg}{día}\right)}{800 \left(\frac{kg}{m^3}\right)} = 62,08 \frac{m^3}{día}$$

- Concentración de sólidos:

$$Sequedad_{TOTAL} = \frac{0,05 \cdot 59031 + 0,21 \cdot 4685,7}{59031 + 4685,7} \cdot 100 = 6,18 \%$$

- Carga de sólidos totales:

$$ST_{DIGERIR} = \frac{5}{100} \cdot 59031 \left(\frac{kg}{día}\right) + \frac{21}{100} \cdot 4685,7 \left(\frac{kg}{día}\right) = 3935,547 \frac{kg ST}{día}$$

- Carga de sólidos volátiles:

$$SV_{DIGERIR} = SV_{LODOS 1^o} + SV_{LODOS 2^o} + SV_{CÍTRICOS} = 2779,8 \frac{kg SV}{día} \text{ (punto 7.3, Anexo 1)}$$

- Carga de cenizas:

$$Cenizas_{DIGERIR} = \frac{5}{100} \cdot 59031 \cdot \frac{1,87}{100} + \frac{21}{100} \cdot 4685,7 \cdot \frac{23}{100} = 281,51 \frac{kg cenizas}{día}$$

7.3. CÁLCULO DE LAS DIMENSIONES DEL DIGESTOR ANAEROBIO

Para el dimensionado del digestor, se parte del cálculo del volumen necesario, el cual viene determinado por el producto del caudal de entrada al digestor y el tiempo de retención hidráulica, que se ha tomado como 18 días en base a las curvas de generación de biogás observadas en el ensayo de cogeneración de lodos y ROB dirigido por Sosnowski en su artículo *Kinetic investigations of methane co-fermentation of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes* (Sosnowski et al., 2008).

$$V_{digestion} = Q_{TOTAL} \left(\frac{m^3}{día} \right) \cdot TRH(días) = 62,08 \left(\frac{m^3}{día} \right) \cdot 18(días) = 1117,44 m^3$$

A partir de este volumen, y en base a otros digestores diseñados, se procede a definir las dimensiones de cada una de las zonas del digestor, las cuales se muestran en la imagen siguiente.

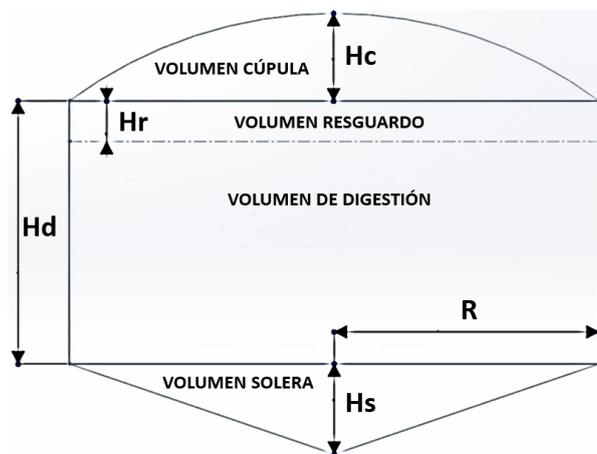


Ilustración 52 - Esquema del digestor anaerobio monoetapa

Para el dimensionamiento, se han tenido en cuenta las siguientes restricciones:

- $V_{digestion} = V_{total} - V_{resguardo} = \pi \cdot R^2 \cdot H_d - \pi \cdot R^2 \cdot H_r$
- $R \cong H_d$
- $H_r = 0,5 m$

Por lo tanto:

$$V_{digestion} = 1117,44 m^3 = \pi \cdot R^2 \cdot R - \pi \cdot R^2 \cdot 0,5$$

$$\frac{1117,44}{\pi} = R^3 - 0,5 \cdot R^2$$

$$\boxed{R = 7,256 m \cong 7,3 m}$$

Así pues, la zona central del digestor anaerobio estará constituida por un cilindro de 7,3 metros de radio y 7,3 metros de altura, con un volumen total de 1222,14 m³ de los cuales 83,71 m³ corresponden a la zona de resguardo. La base del cilindro estará enterrada 0,5 m bajo tierra, de modo que solo serán visibles 6'8 m de pared.

El espesor de los muros de la parte central del digestor se establecerá según lo aconsejado en el libro *Hormigón Armado* de Jiménez Montoya. Al resultar menores los esfuerzos en las paredes cilíndricas, se adoptan también espesores menores que en las paredes rectangulares y el espesor recomendado se calcula aplicando la siguiente expresión:

$$e_{muros} = 0,05 \cdot H_d + 0,01 \cdot R = 0,05 \cdot 7,3 + 0,01 \cdot 7,3 = 0,44 \text{ m}$$

La solera estará formada por dos capas, una de hormigón armado que será la base del digestor de 0,65 m de espesor, y otra de hormigón de limpieza de 0,1 m, ya que el espesor de la solera debe ser aproximadamente del 10% de la altura del digestor. También contará con una capa de panel rígido de poliestireno extruido de 3mm.

$$e_{solera} \cong 0,75 \text{ m}$$

La altura de la solera queda definida en función de su pendiente, estimada en un 17 %.

$$H_s = R \cdot 0,17 = 7,3 \cdot 0,17 = 1,24 \text{ m}$$

La cúpula será un casquete esférico de 1 m de altura, con un radio de esfera de 27,15 m, y un volumen de 84,23 m³. Estará formada por un panel sándwich con aislante de poliuretano, con un espesor de 0,06 m.

El volumen total final del digestor anaerobio será la suma de los siguientes volúmenes:

$$V_{digestión} + V_{resguardo} = \pi \cdot R^2 \cdot H_d = \pi \cdot 7,3^2 \cdot 7,3 = 1222,14 \text{ m}^3$$

$$V_{solera} = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H_s = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot 7,3^2 \cdot 1,36 = 75,90 \text{ m}^3$$

$$V_{cupula} = 84,23 \text{ m}^3$$

$$\boxed{V_{TOTAL DIGESTOR} = 1382,27 \text{ m}^3}$$

8. POTENCIA TÉRMICA NECESARIA PARA CALEFACTAR EL DIGESTOR

El digestor, como ya se ha comentado anteriormente, trabajara en régimen mesofílico, es decir, entre 25 °C y 45 °C, concretamente a 35 °C, ya que aunque el rango termofílico, entre 45 °C y 65 °C, incrementa la solubilización de la materia orgánica en suspensión y la producción de ácidos grasos volátiles, tiene ciertas desventajas como el alto requerimiento energético, el tiempo necesario para el establecimiento de la población bacteriana y la mayor sensibilidad a variaciones de temperatura.

8.1. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS A TRAVÉS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Al existir una diferencia de temperatura entre el exterior y el interior del digestor, se produce un intercambio de energía interna, generándose una transferencia de calor a través de los elementos constructivos. Para el cálculo de dichas pérdidas se calculará el coeficiente global de transferencia de calor, o transmitancia térmica, y a partir de ella la pérdida de potencia de calor.

Para determinar la transmitancia térmica de cada una de las paredes, se procederá al cálculo pared por pared y se utilizará el código técnico de edificación CTE_DB-HE Ahorro de energía, así como sus distintos documentos de apoyo.

8.1.1 DETERMINACIÓN DE LA ZONA CLIMÁTICA

Con el fin de poder aplicar el procedimiento descrito en el documento CTE_DB-HE, es necesario determinar en qué categoría de 'Zona Climática' se encuentra Almassora, situada a 31 metros sobre el nivel del mar.

Consultando la tabla B.1. del Apéndice B de la sección HE 1, se tiene una zona climática B3.

Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168							h < 400	h < 450				h ≥ 450				
Barcelona	C2	1										h < 250				h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250					h ≥ 250
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000

Ilustración 53 - Extracto de la tabla B.1. del Apéndice B de la sección HE 1 del documento CTE_DB-HE

8.1.2 PÉRDIDAS A TRAVÉS DE LA SOLERA

La solera se considera como una pared plana horizontal enterrada, constituida por una capa de hormigón de 0,75 m de espesor y una capa de panel rígido de poliestireno extruido de 3 mm, con unas conductividades térmicas de:

$$K_{horm} = 2,3 \frac{W}{m K} \quad K_{pol} = 0,034 \frac{W}{m K}$$

Para considerar la solera como una superficie horizontal, es necesario estimar la profundidad media. Dado que la base de la zona central del digestor está enterrada 0,5 m, la profundidad media se calcula como:

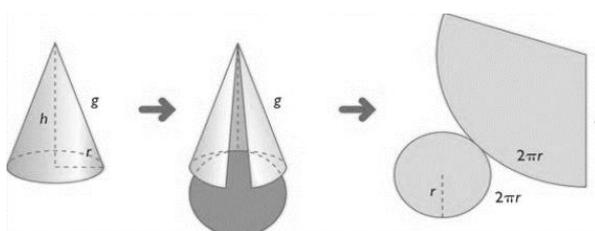
$$z = \frac{H_s + e_{solera}}{2} + 0,5 = \frac{1,24 + 0,75}{2} + 0,5 = 1,495 \text{ m}$$

La transmitancia térmica U_s (W/m²K) se calcula según lo indicado en el DB-HE para soleras o losas a una profundidad superior a 0,5 m respecto al nivel del terreno. Se obtiene a partir de la Tabla A.4.2 en función de la profundidad Z_{med} de la solera respecto el nivel del terreno, de su resistencia térmica R_f y la longitud característica B' .

La resistencia térmica será:

$$R_f = R_{horm} + R_{pol} = \frac{e_{horm}}{K_{horm}} + \frac{e_{pol}}{K_{pol}} = \frac{0,75}{2,3} + \frac{0,003}{0,034} = 1,21 \text{ m}^2\text{K/W}$$

La longitud característica B' (m) se calcula como el cociente entre la superficie del suelo y la longitud de su semi-perímetro. La superficie del suelo se corresponde con la superficie lateral de un cono de iguales dimensiones que la solera, mientras que el perímetro corresponde al de un círculo de iguales dimensiones que la base de la solera.



$$A = \pi \cdot r \cdot g = \pi \cdot 7,3 \cdot \sqrt{7,3^2 + 1,24^2} = 169,814 \text{ m}^2$$

$$P = 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot 7,3 = 45,867 \text{ m}$$

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} = \frac{169,814 \text{ m}^2}{\frac{1}{2} \cdot 45,867 \text{ m}} = 7,405 \text{ m}$$

Accediendo a la tabla 4 del documento de apoyo DA DB-HE/1 con los parámetros z , R_f y B' se obtiene, tras una doble interpolación, un valor de transmitancia térmica U_s de 0,31 W/m²K.

Tabla 4 Transmitancia térmica U_s en W/m²·K

B'	0,5 m < z ≤ 1,0 m				1,0 m < z ≤ 2,0 m				2,0 m < z ≤ 3,0 m				z > 3,0 m			
	Rf (m ² ·K/W)															
	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50	0,00	0,50	1,00	1,50
1	1,51	1,07	0,84	0,69	1,14	0,88	0,72	0,61	0,78	0,65	0,56	0,49	0,59	0,51	0,46	0,41
2	1,09	0,82	0,67	0,57	0,87	0,70	0,59	0,51	0,63	0,54	0,47	0,42	0,50	0,44	0,40	0,36
3	0,87	0,68	0,57	0,49	0,71	0,59	0,50	0,44	0,53	0,47	0,41	0,37	0,43	0,39	0,35	0,32
4	0,74	0,59	0,49	0,43	0,61	0,51	0,44	0,39	0,47	0,41	0,37	0,34	0,39	0,35	0,32	0,29
5	0,64	0,52	0,44	0,39	0,54	0,45	0,40	0,36	0,42	0,37	0,34	0,31	0,35	0,32	0,29	0,27
6	0,57	0,46	0,40	0,35	0,48	0,41	0,36	0,33	0,38	0,34	0,31	0,28	0,32	0,29	0,27	0,25
7	0,52	0,42	0,37	0,33	0,44	0,38	0,33	0,30	0,35	0,31	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,24
8	0,47	0,39	0,34	0,30	0,40	0,35	0,31	0,28	0,33	0,29	0,27	0,25	0,28	0,26	0,24	0,22
9	0,43	0,36	0,32	0,28	0,37	0,32	0,29	0,26	0,30	0,27	0,25	0,23	0,26	0,24	0,22	0,21
10	0,40	0,34	0,30	0,27	0,35	0,30	0,27	0,25	0,29	0,26	0,24	0,22	0,25	0,23	0,21	0,20
12	0,36	0,30	0,27	0,24	0,31	0,27	0,24	0,22	0,26	0,23	0,21	0,20	0,22	0,21	0,19	0,18
14	0,32	0,27	0,24	0,22	0,28	0,25	0,22	0,20	0,23	0,21	0,20	0,18	0,20	0,19	0,18	0,17
16	0,29	0,25	0,22	0,20	0,25	0,23	0,20	0,19	0,21	0,20	0,18	0,17	0,19	0,17	0,16	0,16
18	0,26	0,23	0,20	0,19	0,23	0,21	0,19	0,18	0,20	0,18	0,17	0,16	0,17	0,16	0,15	0,15
≥20	0,24	0,21	0,19	0,17	0,22	0,19	0,18	0,16	0,18	0,17	0,16	0,15	0,16	0,15	0,14	0,14

Ilustración 54 - Extracto de la tabla 4 del documento de apoyo DA DB-HE/1

Una vez determinada la transmitancia se calcula la pérdida de potencia de calor. Tomando como temperatura interior constante 35°C y como temperatura exterior la temperatura mínima del suelo, que, consultando el documento “Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto” del IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), se ha determinado en 8°C, se tiene una pérdida de potencia de calor de:

$$q_s = A \cdot U_s \cdot (T_{int} - T_{ext}) = 169,814 \cdot 0,31 \cdot (35 - 8) = \mathbf{1421,34 W}$$

8.1.3 PÉRDIDAS A TRAVÉS DEL MURO VERTICAL ENTERRADO

El digestor tiene 0,5 m de muro enterrado para poder tener las tuberías en zanjas bajo tierra e impedir así que supongan una molestia y que estén expuestos a la intemperie. Este muro está formado por hormigón armado por lo tanto su conductividad es la siguiente:

$$K_{horm} = 2,3 \frac{W}{m K}$$

Puesto que la geometría del muro es cilíndrica, se aplicará el mismo método que a una tubería enterrada, tal y como marca la guía técnica de Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización publicada por el IDAE. El cálculo de estos casos es complejo y como cálculo aproximado se puede resumir utilizando la presencia del terreno como una resistencia térmica más, del tipo:

$$R_{terreno} = \frac{1}{2 \times \pi \times K_{terreno}} \times \ln \left[\frac{2 \times P}{D_{ext}} + \sqrt{\left(\frac{2 \times P}{D_{ext}} \right)^2 - 1} \right]$$

Siendo:

- P: Profundidad a la cual está enterrado el muro, igual a 0,5 m.
- $K_{terreno}$: Conductividad del terreno que a falta de datos experimentales se puede aproximar a:

$$k_{terreno} = (\rho^{0,266} - 6,05) \times \left(1 - \frac{Hr - 10}{80} \right)$$

- ρ : Densidad del terreno, comprendida entre 1200 y 1800 kg/m³, considerándose en el terreno de emplazamiento un valor de 1400 kg/m³.
- Hr: Humedad relativa del terreno, comprendida entre el 5 y 30%, considerando la media del 17,5% para el diseño.

Con lo cual:

$$K_{terreno} = (1400^{0,266} - 6,05) \cdot \left(1 - \frac{17,5 - 10}{80} \right) = 0,742 \frac{W}{m K}$$

Y sustituyendo en la fórmula:

$$R_{terreno} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 0,742} \cdot \ln \left[\frac{2 \cdot 0,5}{17,82} + \sqrt{\left(\frac{2 \cdot 0,5}{17,82} \right)^2 - 1} \right] = 0,325 m^2 K / W$$

Puesto que la conductividad interior se desprecia, ya que el coeficiente de convección interior es muy grande en comparación con el interior, y no existe transferencia por radiación, ni interior ni exterior, la pérdida de potencia de calor a través de este muro enterrado, tomando como temperatura interior constante 35°C y como temperatura exterior la temperatura del suelo, 8°C (“Guía técnica de condiciones climáticas exteriores de proyecto” del IDEA), es de:

$$q_{me} = \frac{h \cdot (T_{int} - T_{ext})}{\frac{\ln \frac{r_{ext}}{r_{int}}}{2 \cdot \pi \cdot K_{horm}} + R_{terreno}} = \frac{0,5 \cdot (35 - 8)}{\frac{\ln \frac{7,3 + 0,44}{7,3}}{2 \cdot \pi \cdot 2,3} + 0,325} = 41,03 \text{ W}$$

8.1.4 PÉRDIDAS A TRAVÉS DEL MURO VERTICAL

Para este caso, se utiliza la analogía eléctrica para geometrías cilíndricas, mediante la cual se puede representar la transferencia de calor como un circuito térmico equivalente, considerando las resistencias térmicas correspondientes para geometrías cilíndricas. La pared del digestor tiene la siguiente estructura:

Chapa de acero ondulada + Lana de vidrio + Hormigón Armado

Con unas conductividades térmicas y unos espesores de:

$$\begin{aligned} K_{acero} &= 50 \frac{\text{W}}{\text{m K}} & K_{horm} &= 2,3 \frac{\text{W}}{\text{m K}} & K_{lv} &= 0,034 \frac{\text{W}}{\text{m K}} \\ e_{acero} &= 0,002 \text{ m} & e_{horm} &= 0,44 \text{ m} & e_{lv} &= 0,06 \text{ m} \end{aligned}$$

Además del intercambio de calor por conducción a través de los cerramientos, existe una convección a través del aire y un intercambio de calor por radiación entre la superficie de la pared y los alrededores. Para calcular el coeficiente de convección se utiliza la normará UNE-EN ISO 12241:2010.

En primer lugar se debe determinar el régimen de circulación del aire. Para ello, se ha consultado la base de datos de la estación meteorológica de Almazora desde 1976 hasta 2012 (Ilustración 55), obteniéndose una velocidad media diaria de 10,44 km/h. No obstante, para el cálculo de las pérdidas se tomará un valor más conservador de 5,5 m/s (20 km/h).

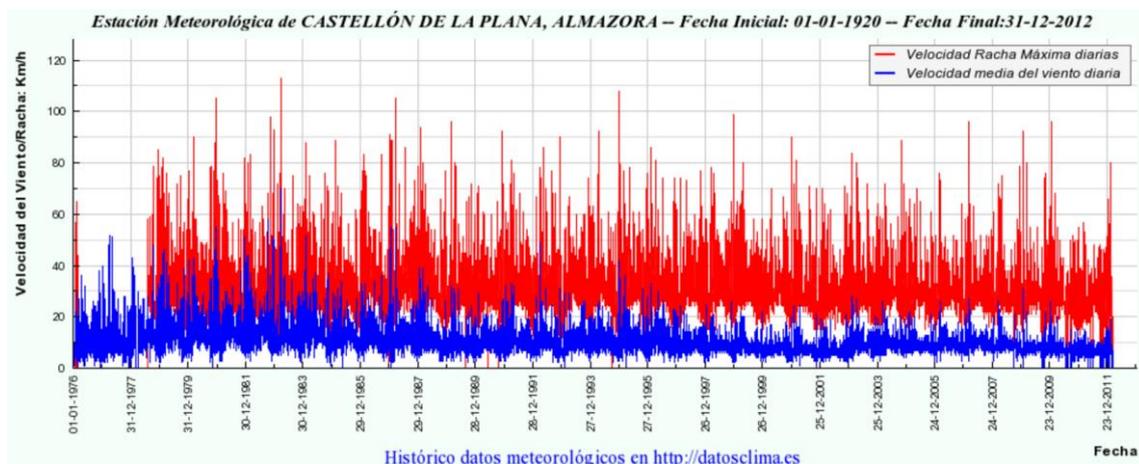


Ilustración 55 - Representación gráfica del histórico de vientos en el municipio de Almassora desde 1976 hasta 2012

Para una velocidad media de 5,5 m/s, aplicando el criterio establecido en la norma UNE para tuberías (pero con unas dimensiones muy superiores) verticales exteriores de edificios, se obtiene que se está ante un régimen turbulento.

$$v \cdot D = 5,5 \cdot (2 \cdot 7,3) = 80,3 \frac{m^2}{s} > 0,00855 \frac{m^2}{s} \rightarrow \text{Regimen Turbulento}$$

Por lo tanto, el coeficiente de convección se obtiene como:

$$h_{conv} = 8,9 \cdot \frac{v^{0,9}}{D^{0,1}} = 8,9 \cdot \frac{5,5^{0,9}}{(2 \cdot 7,3)^{0,1}} = 31,57 \frac{W}{m^2 K}$$

El coeficiente de radiación se calcula a partir de la siguiente expresión:

$$h_{rad} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_2 + T_{ext}) \cdot (T_2^2 + T_{ext}^2)$$

Siendo:

- σ : La constante de Stefan-Boltzman, cuyo valor es $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$.
- ε : El coeficiente de emisión de la superficie de estudio, tomando el valor medio de 0,9.
- T_2 : La temperatura en la superficie exterior de la pared del digestor, y se calcula realizando un balance de potencias en dicha superficie:

$$q_{rad} + q_{conv} = q_{cond} \rightarrow A \cdot \sigma \cdot (T_2^4 - T_{ext}^4) + A \cdot h_{conv} \cdot (T_2 - T_{ext}) = \frac{2 \cdot \pi \cdot L \cdot (T_2 - T_{int})}{\frac{\ln \frac{r_1}{r_{int}}}{K_{horm}} + \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{K_{lv}}}$$

Consultado la base de datos de la estación meteorológica de Almazora desde 1976 hasta 2012 (Ilustración 56), se ha obtenido una temperatura mínima media durante los meses de invierno de 6 °C, por lo tanto, $T_{ext}=279 \text{ K}$. La temperatura interior, T_{int} , será de 308 K.

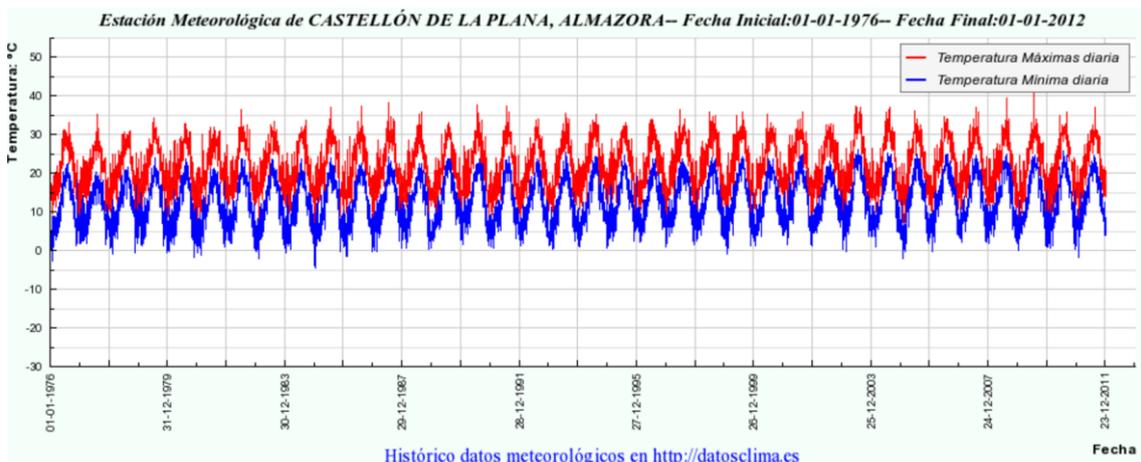


Ilustración 56 - Representación gráfica del histórico de T^A en el municipio de Almassora desde 1976 hasta 2012

Sustituyendo y simplificando las áreas, con el término del numerador, $2 \cdot \pi \cdot L$, se tiene:

$$7,8 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot (T_2^4 - 279^4) + 7,8 \cdot 31,57 \cdot (T_2 - 279) = \frac{(T_2 - 308)}{\frac{\ln \frac{7,3 + 0,44}{7,3}}{2,3} + \frac{\ln \frac{7,3 + 0,44 + 0,06}{7,3 + 0,44}}{0,034}}$$

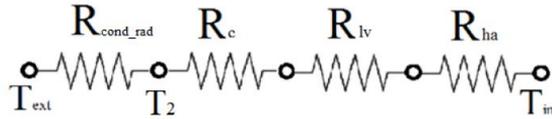
Resolviendo la ecuación, se obtiene que la temperatura en la superficie exterior del digestor es:

$$T_2 = 278,591 = 5,59 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Finalmente, sustituyendo en la expresión del coeficiente de radiación, se tiene:

$$h_{rad} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,9 \cdot (278,59 + 279) \cdot (278,59^2 + 279^2) = 4,42 \frac{W}{m^2 K}$$

En este caso la resistencia conectiva interior es despreciable, ya que el coeficiente de convección interior, es muy grande comparado con el exterior y la radiación es nula. Por lo tanto, el circuito térmico equivalente de las paredes que conforman el muro vertical es:



Siendo:

$$R_{ha} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot K_{horm}} = \frac{\ln \frac{7,3 + 0,44}{7,3}}{2 \cdot \pi \cdot (7,3 - 0,5) \cdot 2,3} = 0,0005956 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_{lv} = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2 \cdot \pi \cdot h \cdot K_{horm}} = \frac{\ln \frac{7,3 + 0,44 + 0,06}{7,3 + 0,44}}{2 \cdot \pi \cdot (7,3 - 0,5) \cdot 0,034} = 0,0053157 \frac{m^2 K}{W}$$

$$R_c \cong 0$$

$$R_{conv\ rad} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_{ext} \cdot h \cdot (h_{conv} + h_{rad})} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot (7,3 + 0,44 + 0,06) \cdot (7,3 - 0,5) \cdot (31,57 + 4,42)}$$

$$= 0,0000834 \frac{m^2 K}{W}$$

Una vez determinada las resistencias térmicas, se calculan las pérdidas a través de la pared del digestor, tomando como temperatura interior 35°C y como temperatura exterior 6 °C.

$$q_m = \frac{(T_{int} - T_{ext})}{R_{ha} + R_{lv} + R_{conv\ rad}} = \frac{(35 - 6)}{0,00599471} = 4837,6 \text{ W}$$

8.1.5 PÉRDIDAS A TRAVÉS DE LA CÚPULA

La cúpula, con forma de casquete esférico y 1 metro de altura, está formada por un panel sándwich con aislante de poliuretano de 0,06 m de espesor. Puesto que se trata de un casquete esférico de una altura pequeña comparada con el radio de la esfera (27,15 m), para el cálculo de resistencias térmicas se aproximará la cúpula a una superficie plana horizontal.

$$K_p = 0,025 \frac{W}{m K} \quad e_p = 0,06 \text{ m}$$

Por tanto, su resistencia térmica será:

$$R_p = \frac{e_p}{K_p} = \frac{0,06}{0,025} = 2,4 \frac{m^2 K}{W}$$

Además, existe una resistencia debida a la convección con el aire exterior y a la radiación, que se calcula mediante el DB-HE. Accediendo a la tabla 4 del documento de apoyo DA DB-HE/1, de acuerdo con la posición del cerramiento, que en este caso es cerramiento horizontal o con pendiente sobre la horizontal menor o igual a 60° y flujo ascendente, se tiene que:

$$R_{conv\ rad\ ext} = 0,04\ m^2K/W$$

Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m²·K/W

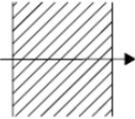
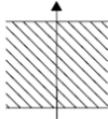
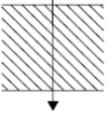
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R _{se}	R _{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Ilustración 57 - Extracto de la tabla 1 del documento de apoyo DA DB-HE/1

El área de la cúpula es:

$$A_{cup} = 2 \cdot \pi \cdot r_{esf} \cdot h_{cup} = 2 \cdot \pi \cdot 27,15 \cdot 1 = 170,588\ m^2$$

Finalmente, tomando como temperatura interior 35 °C y como temperatura exterior 6 °C, la potencia de calor transmitida a través de la cúpula es:

$$q_c = \frac{A_{cup} \cdot (T_{int} - T_{ext})}{R_p + R_{conv\ rad\ ext}} = \frac{170,588 \cdot (35 - 6)}{2,4 + 0,04} = 2027,48\ W$$

8.1.6 RESUMEN DE LAS PÉRDIDAS A TRAVÉS DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Sumando las pérdidas de potencia de calor a través de todas las superficies del digestor se obtienen las pérdidas totales para las condiciones de explotación menos favorables, es decir, para vientos de 20 km/h y una temperatura exterior de 6 °C.

Velocidad viento = 5,5 m/s ; Invierno (T_{EXT} = 6 °C)

<i>Pérdidas a través de la Solera, q_s</i>	1421,34 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical enterrado, q_{me}</i>	41,03 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical, q_m</i>	4837,6 W
<i>Pérdidas a través de la cúpula, q_c</i>	2027,48 W
<i>Pérdida total del digestor anaerobio, q_{PERD_DIGESTOR}</i>	8327,45 W

Tabla 55 – Potencias térmicas disipadas en el digestor para el caso más desfavorable

Dado que las condiciones normales de explotación no van a ser las anteriormente descritas, cabe esperar que las pérdidas reales que se tengan en el digestor sean inferiores a los 8,3 kW calculados para el caso menos favorable.

Así, repitiendo los cálculos para unas condiciones de funcionamiento acordes a las distintas épocas del año, y suponiendo la velocidad del aire constante e igual a la media de las velocidades medias diarias recopiladas por la estación meteorológica de Almazora desde 1976 hasta 2012, se tiene:

Velocidad viento = 2,9 m/s ; Invierno ($T_{EXT} = 6^{\circ}C$)

<i>Pérdidas a través de la Solera, q_s</i>	1421,34 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical enterrado, q_{me}</i>	41,03 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical, q_m</i>	4837,6 W
<i>Pérdidas a través de la cúpula, q_c</i>	2027,48 W
<i>Pérdida total del digester anaerobio, $q_{PERD_DIGESTOR}$</i>	8285,89 W

Tabla 56 - Potencias térmicas disipadas en el digester en invierno

Velocidad viento = 2,9 m/s ; Primavera/Otoño ($T_{EXT} = 14^{\circ}C$)

<i>Pérdidas a través de la Solera, q_s</i>	1105,49 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical enterrado, q_{me}</i>	31,91 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical, q_m</i>	3474,34 W
<i>Pérdidas a través de la cúpula, q_c</i>	1468,18 W
<i>Pérdida total del digester anaerobio, $q_{PERD_DIGESTOR}$</i>	6079,91 W

Tabla 57 - Potencias térmicas disipadas en el digester en primavera/otoño

Velocidad viento = 2,9 m/s ; Verano ($T_{EXT} = 22^{\circ}C$)

<i>Pérdidas a través de la Solera, q_s</i>	789,63 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical enterrado, q_{me}</i>	22,79 W
<i>Pérdidas a través del muro vertical, q_m</i>	2151,64 W
<i>Pérdidas a través de la cúpula, q_c</i>	908,87 W
<i>Pérdida total del digester anaerobio, $q_{PERD_DIGESTOR}$</i>	3872,94 W

Tabla 58 - Potencias térmicas disipadas en el digester en verano

Como era de esperar, cuando la temperatura ambiente es mayor, el intercambio de calor existente entre el digester y el exterior disminuye, llegando a reducirse más de la mitad, desde los 8,3 kW calculados para el peor de los casos hasta los 3,9 kW.

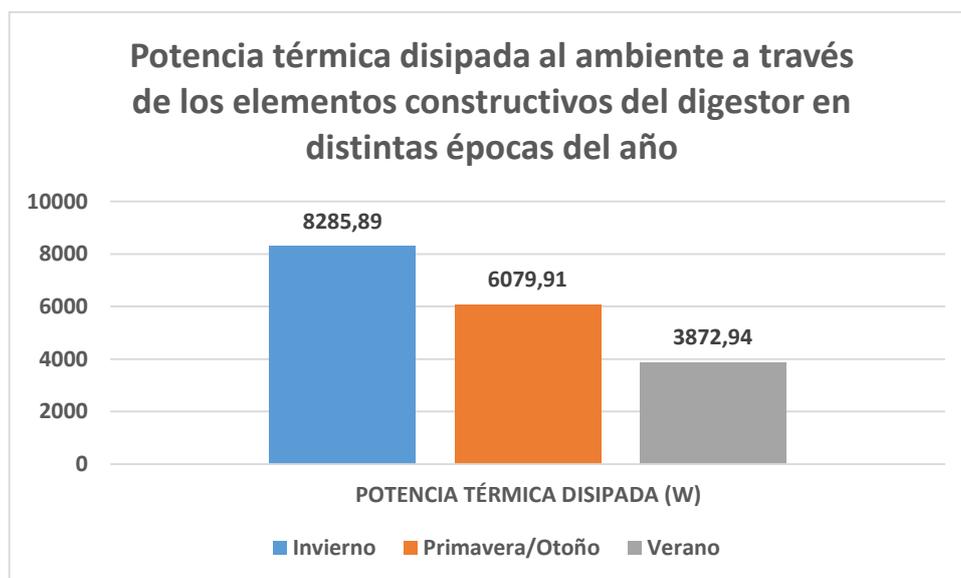


Ilustración 58 - Representación gráfica de la potencia térmica disipada por el digester en distintas épocas del año

8.2. CÁLCULO DE LA DEMANDA TÉRMICA TOTAL PARA ABASTECER LAS NECESIDADES TÉRMICAS DEL DIGESTOR

El sustrato calentado en la digestión corresponde a la mezcla de los lodos provenientes del pre-espesador y del ROB empleado como co-sustrato.

Con el fin de compensar la potencia térmica disipada a través de los elementos constructivos del digestor, es necesario calentar el sustrato por encima de los 35 °C a los que se desea realizar el proceso de digestión. Este ΔT se calcula a partir de la potencia térmica total disipada. Considerando además que las pérdidas a través de las tuberías son un 10% de las pérdidas a través del digestor, se tiene:

$$1,10 \cdot q_{PERD \text{ DIGESTOR}} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Siendo:

- $q_{PERD \text{ DIGESTOR}}$: La potencia térmica disipada en el digestor, expresada en kJ/día.
- \dot{m} : El caudal másico diario de sustrato a digerir (kg/día).
- c_p : El calor específico del sustrato a digerir (kJ/kg·K).

Dado que el lodo supone el 94% del peso húmedo total, se tomará el calor específico del lodo como el calor específico de la mezcla lodo-ROB. El calor específico del lodo depende en gran medida a su composición y su contenido en agua, pero por norma general es inferior al calor específico del agua ($c_{p,agua}=4,18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$).

Para el cálculo que se realiza a continuación, se considerará el calor específico del agua.

$$c_p = 4,18 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

- ΔT : Representa la temperatura extra que han de alcanzar los lodos para compensar el calor que se disipa desde el digestor al exterior.

Operando en las unidades adecuadas y para el caso menos favorable se tiene:

$$1,10 \cdot 8,327 \left(\frac{\text{kW}}{\text{s}} \right) \cdot \frac{3600(\text{s}) \cdot 24(\text{h})}{1(\text{h}) \cdot 1(\text{día})} = 63716,7 \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) \cdot 4,18 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \right) \cdot \Delta T \rightarrow \boxed{\Delta T \cong 3 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

Por lo tanto, el sustrato deberá entrar al digestor a una temperatura de 38 °C. Suponiendo que, para el caso más desfavorable, la temperatura inicial del sustrato antes de entrar al digestor es de 9 °C, se tiene que la potencia térmica necesaria para calentar el sustrato es:

$$q_{SUSTRATO} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{sal} - T_{ent}) = 63716,7 \cdot 4,18 \cdot (38 - 9) = 7.723.738,37 \frac{\text{kJ}}{\text{día}}$$

Expresando esta potencia en W:

$$q_{SUSTRATO} = 7.723.738,37 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{día}} \right) \cdot \frac{1000(\text{J}) \cdot 1(\text{día}) \cdot 1(\text{h})}{1(\text{kJ}) \cdot 24(\text{h}) \cdot 3600(\text{s})} = \mathbf{89.395,12 \text{ W}}$$

Por tanto, para el caso más desfavorable, será necesaria una potencia térmica de 90 kW para calefactar el digestor.

9. DIMENSIONADO DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS

En España, el marco de las condiciones técnicas y garantías que deben reunir las instalaciones eléctricas conectadas a una fuente de suministro en los límites de baja tensión viene recogido en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT). Según este reglamento, se considera baja tensión aquella que es menor o igual a 1000V en alterna o 1500V en continua, por lo que todas las instalaciones eléctricas del proyecto se registrarán por el REBT.

Para realizar el dimensionado de las líneas eléctricas y los elementos de seguridad necesarios se aplicará, en todo momento, la normativa más restrictiva, de modo que se esté siempre del lado de la seguridad. Además, se aplicarán dos criterios para dimensionar los cables de BT: criterio de máxima intensidad admisible y el criterio de caída de tensión.

9.1. MICROTURBINAS

Cada uno de los generadores acoplados a las microturbinas cuenta con una potencia de 65 kW, por lo que se tendrá la siguiente intensidad nominal:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = \frac{65000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 1} = 93,8 \text{ A}$$

No obstante, ésta no será la intensidad de diseño, ya que se tiene que aplicar un factor de corrección según se estipula en la ITC-BT-40, que se aplica a instalaciones generadoras, entendiéndose como tales las destinadas a transformar cualquier tipo de energía no eléctrica en energía eléctrica. Según esta normativa, en las instalaciones generadoras los cables de conexión deberán estar dimensionados para una intensidad no inferior al 125% de la máxima intensidad del generador, y la caída de tensión entre el generador y el punto de interconexión a la Red de Distribución Pública o a la instalación interior, no será superior al 1,5%, para la intensidad nominal.

Por lo tanto, la intensidad de diseño será:

$$I_{DIS} = 1,25 \cdot I = 1,25 \cdot 93,8 \text{ A} = 117,3 \text{ A}$$

Dado que la EDAR de Almassora cuenta con galerías visitables por las que transcurre la instalación eléctrica de la depuradora, los conductores transcurrirán por dichas galerías instalados sobre bandejas de cables perforadas (instalación tipo F). Aplicando la instrucción técnica más restrictiva, la intensidad máxima admisible según la ITC-BT-19, viene dada por la Tabla 46.

Por el criterio de caída de tensión se tiene que, para una longitud de cable de 80 metros, la sección mínima de los conductores es:

$$S_{min} \cong \frac{P \cdot L}{c_{cobre} \cdot V^2 \cdot CdT(\%)} \cdot 100 = \frac{65000 \cdot 80}{56 \cdot 400^2 \cdot 1,5} \cdot 100 = 38,7 \text{ mm}^2$$

Por tanto, como el criterio de caída de tensión es más restrictivo, cada microturbina irá conectada mediante **3 cables unipolares de cobre 3x50mm²**, con aislamiento de polietileno reticulado o etileno propileno (XLPE/EPR), con una intensidad máxima admisible de 188 A, muy superior a los 117,3 A de diseño.

F		Cables unipolares en contacto mutuo. Distancia a la pared no inferior a D.	3xPVC	3xXLPE o EPR
			mm ²	
Cobre		10	-	76
		16	-	105
		25	96	123
		35	119	154
		50	145	188
		70	188	244
		95	230	296
		120	267	348
		150	310	404
		185	354	464
		240	419	552
		300	484	640

Tabla 59 - Intensidad máxima admisible en montaje tipo F según la ITC-BT-19

En el inversor, las microturbinas ya disponen de las protecciones eléctricas de baja tensión, por lo que las microturbinas pueden instalarse, sin necesidad de ningún equipo de protección auxiliar, junto a la línea de acometida de la planta depuradora, de modo que transformador y microturbina trabajen en paralelo.

9.2. SISTEMA DE AGITACIÓN DEL DIGESTOR ANAEROBIO

La instalación eléctrica estará compuesta por una línea principal que parta del cuadro primario y llegue al cuadro secundario del sistema de agitación, del cual saldrá una línea secundaria hacia cada agitador. El digestor cuenta en total con dos agitadores mecánico laterales trifásicos de 400V y 10CV.

Según la ITC-BT-47, para compensar las sobrecargas causadas por los picos de corriente durante el arranque de motores, cabe incrementar un 25% la corriente del mayor motor alimentado por la línea. Por tanto:

$$I_{LINEA\ PRINCIPAL} = \frac{1,25 \cdot P + P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = \frac{2,25 \cdot 10 \cdot 736\ W}{\sqrt{3} \cdot 400\ V \cdot 0,9} = 26,6\ A$$

$$I_{LINEAS\ SECUNDARIAS} = 1,25 \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = 1,25 \cdot \frac{10 \cdot 736\ W}{\sqrt{3} \cdot 400\ V \cdot 0,9} = 14,8\ A$$

Al igual que en el caso anterior, los cables serán de cobre con revestimiento XLPE/EPR e irán montados sobre bandeja de cables perforada instalada en galería visitable en todos aquellos tramos en los que así sea posible. Cuando no, irán enterrados bajo tierra (instalación tipo D). La intensidad máxima admisible, según la ITC-BT-19, viene dada por la Tabla 46 para la línea principal, y por la Tabla 47 para las líneas secundarias.

* Método D		Sección mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
Cobre	PVC2	20,5	27,5	36	44	59	76	98	118	140	173	205	233	264	296	342	387	
	PVC3	17	22,5	29	37	49	63	81	97	115	143	170	192	218	245	282	319	
	XLPE2	24,5	32,5	42	53	70	91	116	140	166	204	241	275	311	348	402	455	
	XLPE3	21	27,5	35	44	58	75	96	117	138	170	202	230	260	291	336	380	
Aluminio	XLPE2						70	89	107	126	156	185	211	239	267	309	349	
	XLPE3						58	74	90	107	132	157	178	201	226	261	295	

Tabla 60 - Intensidad máxima admisible en montaje tipo D según la ITC-BT-19

Según el criterio de caída de tensión, para una caída de tensión máxima del 1% en la línea principal (60 m) y del 0,5% en las secundarias (8 m), se tiene que:

$$S_{\min \text{ principal}} \cong \frac{P \cdot L}{c_{\text{cobre}} \cdot V^2 \cdot CdT(\%)} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 10 \cdot 736 \cdot 60}{56 \cdot 400^2 \cdot 1} \cdot 100 = 11 \text{ mm}^2$$

$$S_{\min \text{ secundarias}} \cong \frac{P \cdot L}{c_{\text{cobre}} \cdot V^2 \cdot CdT(\%)} \cdot 100 = \frac{10 \cdot 736 \cdot 8}{56 \cdot 400^2 \cdot 0,5} \cdot 100 = 1,5 \text{ mm}^2$$

Aplicando el criterio más restrictivo en cada tramo se tiene que:

$$\text{Tramo principal} \rightarrow 3 \times 16 \text{ mm}^2 + 1 \times 16 \text{ mm}^2 (3F + N)$$

$$\text{Tramos secundarios} \rightarrow 3 \times 2,5 \text{ mm}^2 + 1 \times 2,5 \text{ mm}^2 (3F + N)$$

9.3. COMPRESOR DE PISTÓN

El compresor de pistón encargado de acumular el biogás a una presión de 8 bares será de una potencia no superior a 15kW, alimentado en trifásica, con un factor de potencia superior a 0,9. Incrementando la intensidad nominal en un 25% para compensar las sobrecargas causadas por los picos de corriente durante el arranque de motores, según establece la ITC-BT-47, se tiene una intensidad de diseño de:

$$I = 1,25 \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\phi} = 1,25 \cdot \frac{15000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,9} = 30 \text{ A}$$

Los cables partirán del cuadro principal, serán de cobre con revestimiento XLPE/EPR e irán montados sobre bandeja de cables perforada instalada en galería visitable y enterrado bajo tierra cuando así sea necesario. La intensidad máxima admisible, según la ITC-BT-19, vendrá dada por la Tabla 47.

Según el criterio de caída de tensión, para una caída de tensión máxima del 1,5% en un tramo de 80 metros, se tiene que la sección mínima es:

$$S_{\min} \cong \frac{P \cdot L}{c_{\text{cobre}} \cdot V^2 \cdot CdT(\%)} \cdot 100 = \frac{15000 \cdot 80}{56 \cdot 400^2 \cdot 1,5} \cdot 100 = 9,9 \text{ mm}^2$$

Por tanto, el compresor de pistón irá conectado mediante **cables unipolares de cobre de 10 mm²**, con aislamiento de polietileno reticulado o etileno propileno (XLPE/EPR), con una intensidad máxima admisible de 58 A, el doble de los 30 A de diseño.

9.4. MOTORREDUCTOR

El motorreductor encargado de accionar el tornillo sin fin de la tolva de recepción del ROB será de una potencia no superior a 10 kW, alimentado en trifásica, con un factor de potencia superior a 0,9. Incrementando la intensidad nominal en un 25% para compensar las sobrecargas causadas por los picos de corriente durante el arranque de motores, según establece la ITC-BT-47, se tiene una intensidad de diseño de:

$$I = 1,25 \cdot \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos\varphi} = 1,25 \cdot \frac{10000 \text{ W}}{\sqrt{3} \cdot 400 \text{ V} \cdot 0,9} = 20 \text{ A}$$

Los cables partirán del cuadro principal, serán de cobre con revestimiento XLPE/EPR e irán montados sobre bandeja de cables perforada instalada en galería visitable y enterrado bajo tierra cuando así sea necesario. La intensidad máxima admisible, según la ITC-BT-19, vendrá dada por la Tabla 47.

Según el criterio de caída de tensión, para una caída de tensión máxima del 1,5% en un tramo de 80 metros, se tiene que la sección mínima es:

$$S_{min} \cong \frac{P \cdot L}{c_{cobre} \cdot V^2 \cdot CdT(\%)} \cdot 100 = \frac{10000}{56 \cdot 400^2 \cdot 1,5} \cdot 80 \cdot 100 = 6,6 \text{ mm}^2$$

Por tanto, el motorreductor irá conectado mediante **cables unipolares de cobre de 10 mm²**, con aislamiento de polietileno reticulado o etileno propileno (XLPE/EPR), con una intensidad máxima admisible de 58 A, el triple de los 20 A de diseño.

PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	147
1.1 OBJETO	147
1.2 DISPOSICIONES GENERALES	147
1.3 DIRECCIÓN DE LA OBRA	147
1.4 FUNCIONES DEL DIRECTOR	147
1.5 PERSONAL DEL CONTRATISTA	148
1.6 RESIDENCIA DEL CONTRATISTA	149
1.7 ÓRDENES AL CONTRATISTA	149
1.8 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO	149
1.9 CONTRAINDICACIONES Y OMISIONES EN LA DOCUMENTACIÓN.....	149
1.10 PRECIOS CONTRADICTORIOS.....	151
1.11 INDEMNIZACIONES POR CUENTA DEL CONTRATISTA	152
1.12 INDEMNIZACIONES AL CONTRATISTA POR CAUSAS DE FUERZA MAYOR.....	152
1.13 OBJETOS HALLADOS EN LAS OBRAS.....	152
1.14 MEDIDAS PARA EVITAR CONTAMINACIONES.....	152
1.15 LICENCIAS Y PERMISOS	153
1.16 REVISIÓN DE PRECIOS.....	153
1.17 SUSPENSIÓN TEMPORAL DE LAS OBRAS.....	153
1.18 DOCUMENTOS CONTRACTUALES	154
1.19 NOTIFICACIÓN DE TERMINACIÓN DE OBRA	154
1.20 INSPECCIÓN DE LAS OBRAS.....	154
1.21 RECEPCIÓN Y PLAZO DE GARANTÍA	154
1.22 LIBRE ACCESO A LA PROPIEDAD EN LA OBRA.....	155
1.23 RESPONSABILIDAD POR VICIOS OCULTOS.....	155
2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS	157
2.1 CONTROL DE CALIDAD DE LA EJECUCIÓN.....	157
2.2 DOCUMENTO FINAL DE OBRA	157
2.3 LIBRO DE INCIDENCIAS	157
2.4. EQUIPOS DE MAQUINARIA	160
2.5 ACCESO A LA OBRA Y TRÁFICO	161
2.6 SERVIDUMBRES.....	161

2.7 SEÑALIZACIÓN DE LA OBRA	161
2.8 PROCEDENCIA Y APROVECHAMIENTO DE MATERIALES.....	161
3. CONDICIONES INSTALACIÓN DE GAS	163
3.1 PRUEBAS.....	163
3.2 CONDICIONES DE USO, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD	164
3.3 CERTIFICADOS Y DOCUMENTOS.....	165
4. CONDICIONES INSTALACIÓN ELÉCTRICA	167
4.1 CONDICIONES GENERALES	167
4.2 CANALIZACIONES ELÉCTRICAS.....	167
4.3 CONDUCTORES.....	168
4.4 CAJAS DE EMPALME	169
4.5 APARAMENTA DE MANDO Y PROTECCIÓN	169
4.6 CONTROL	170
4.7 SEGURIDAD	171
4.8 LIMPIEZA.....	171
5. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS	173
5.1 CEMENTO.....	173
5.2 HORMIGÓN.....	173
5.3 ARMADURAS.....	173
5.4 COLECTOR.....	173
5.5 AGITADORES DEL DIGESTOR ANAEROBIO.....	174
5.6 MEDIDOR DE CALIDAD DEL BIOGÁS	174
5.7 COMPRESOR DE PISTÓN	175
5.8 GASÓMETRO CERRADO DE MEDIA PRESIÓN.....	175
5.9 INTERCAMBIADOR DE CALOR	175
5.10 MOTORREDUCTOR	176

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 59 - MEDIDOR DE CALIDAD DE BIOGÁS MODELO.....	174
ILUSTRACIÓN 60 - COMPRESOR DE PISTÓN MODELO.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 61 - CARACTERÍSTICAS DE LOS AGITADORES DEL DIGESTOR ANAEROBIO	174
TABLA 62 - CARACTERÍSTICAS DEL COMPRESOR DE PISTÓN.....	175
TABLA 63 - CARACTERÍSTICAS DEL MOTORREDUCTOR	176

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1 OBJETO

Este Pliego de Condiciones determina los requisitos a los que se debe de ajustar la ejecución de las instalaciones cuyas características técnicas están especificadas en la memoria del proyecto y en el pliego de condiciones técnicas.

El ámbito de aplicación se circunscribe a la ejecución del “Proyecto de diseño de una instalación para generación de biogás a partir de la co-digestión de lodos y otros biorresiduos en la EDAR de Almassora” acorde a la normativa vigente.

1.2 DISPOSICIONES GENERALES

Durante la ejecución del proyecto será de obligatorio cumplimiento la reglamentación, la contratación del seguro obligatorio, subsidio familiar y de vejez, seguro de enfermedad y todas aquellas reglamentaciones de carácter social vigentes o que en lo sucesivo se dicten. En particular, deberá cumplir lo dispuesto en la Norma UNE 24042 "Contratación de Obras. Condiciones Generales", siempre que no lo modifique el presente Pliego de Condiciones Particulares.

1.3 DIRECCIÓN DE LA OBRA

El facultativo de la propiedad director de la obra será una persona, con titulación adecuada y suficiente, directamente responsable de la comprobación y vigilancia de la correcta realización de la obra contratada. Para el desempeño de su función podrá contar con colaboradores a sus órdenes, que desarrollarán su labor en función de las atribuciones derivadas de sus títulos profesionales o de sus conocimientos específicos y que integrarán la dirección de la obra.

El Director designado será comunicado al contratista por la propiedad antes de la fecha de la comprobación de replanteo, y dicho Director procederá en igual forma respecto de su personal colaborador. Las variaciones de una u otro que acaezcan durante la ejecución de la obra serán puestas en conocimiento del contratista, por escrito.

1.4 FUNCIONES DEL DIRECTOR

Las funciones del Director, en orden a la dirección, control y vigilancia de las obras que fundamentalmente afectan a sus relaciones con el Contratista, son las siguientes:

- Exigir al Contratista, directamente o a través del personal a sus órdenes, el cumplimiento de las condiciones contractuales.
- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado o modificaciones debidamente autorizadas, y el cumplimiento del programa de trabajos.
- Definir aquellas condiciones técnicas que los Pliegos de Prescripciones correspondientes dejan a su decisión.

- Resolver todas las cuestiones que surjan en cuanto a interpretación de Planos, condiciones de materiales y ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen a las condiciones del Contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del Contrato o aconsejan su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarios para la ejecución de las obras y ocupación de los bienes afectados por ellas, y resolver los problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.
- Asumir personalmente y bajo su responsabilidad en caso de urgencia o gravedad la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso; para lo cual el Contratista deberá poner a su disposición el personal y material de la obra.
- Acreditar al Contratista las obras realizadas, conforme a lo dispuesto en los documentos del Contrato.
- Participar en las recepciones provisional y definitiva y redactar la liquidación de las obras, conforme a las normas legales establecidas.

El Contratista estará obligado a prestar su colaboración al Director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

1.5 PERSONAL DEL CONTRATISTA

Se entiende por “Contratista” la parte contratante obligada a ejecutar la obra. Se entiende por “Delegado de obra del Contratista” la persona designada expresamente por el contratista y aceptada por la Administración, con capacidad suficiente para:

- Ostentar la representación del contratista cuando sea necesaria su actuación o presencia, según el Reglamento General de Contratación y los pliegos de cláusulas, así como en otros derivados del cumplimiento de las obligaciones contractuales, siempre en orden a la ejecución y buena marcha de las obras.
- Organizar la ejecución de la obra a interpretar y poner en práctica las órdenes recibidas de la dirección.
- Proponer a ésta a colaborar con ella en la resolución de los problemas que se planteen durante la ejecución.

La propiedad, cuando por la complejidad y volumen de la obra así haya sido establecido, podrá exigir que el delegado tenga la titulación profesional adecuada a la naturaleza de las obras y que el contratista designe además el personal facultativo necesario bajo la dependencia de aquél.

La propiedad podrá recabar del contratista la designación de un nuevo delegado y, en su caso, de cualquier facultativo que dependa cuando así lo justifique la marcha de los trabajos.

1.6 RESIDENCIA DEL CONTRATISTA

El contratista está obligado a comunicar a la propiedad, en un plazo de quince días, contados a partir de la fecha en que se le haya notificado la adjudicación definitiva de las obras, su residencia o la de su delegado, a todos los derivados de la ejecución de aquéllas.

Esta residencia estará situada en las obras o en una localidad próxima a su emplazamiento, y tanto para concretar inicialmente su situación como para cualquier cambio futuro, el contratista deberá contar con previa conformidad de la propiedad.

Desde que comiencen las obras hasta su recepción definitiva, el contratista o su delegado deberá residir en el lugar indicado, y sólo podrá ausentarse de él previa la comunicación a la dirección de la persona que designe para sustituirle.

1.7 ÓRDENES AL CONTRATISTA

El “Libro de Órdenes” será diligenciado previamente por el servicio a que esté adscrita la obra, se abrirá en la fecha de comprobación del replanteo y se cerrará en la de la recepción definitiva.

Durante dicho lapso de tiempo estará a disposición de la dirección, que, cuando proceda, anotará en él las órdenes, instrucciones y comunicaciones que estime oportunas, autorizándolas con su firma.

El contratista estará también obligado a transcribir en dicho libro, por sí o por medio su delegado cuantas órdenes o instrucciones reciba por escrito de la Dirección, y a firmar, a los efectos procedentes, el oportuno acuse de recibo, sin perjuicio de la necesidad de una posterior autorización de tales transcripciones por la Dirección, con su firma, en el libro indicado.

Efectuada la recepción definitiva, el “Libro de Órdenes” pasará a poder de la propiedad, si bien podrá ser consultado en todo momento por el contratista.

1.8 ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

Se entregará una copia completa de planos y pliego de condiciones del proyecto, así como la información que se necesite para la completa ejecución de la obra.

1.9 CONTRAINDICACIONES Y OMISIONES EN LA DOCUMENTACIÓN

Lo mencionado, tanto en el Pliego General de Condiciones, como en el particular de cada obra y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y alguno de los mencionados Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo escrito en los primeros.

Las omisiones en los Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de la obra que deban ser subsanadas para que pueda llevarse a cabo el espíritu o intención expuesto en los Planos y Pliegos de Condiciones o que por uso y costumbres deben ser realizados, deberán ser ejecutados como si se hubiera sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones.

Los errores materiales que pueda contener el Proyecto de la propiedad, no anularán el Contrato, en tanto no sean denunciados por cualquiera de las partes, dentro de los dos meses computados a partir de la fecha del Acta de Comprobación del Replanteo y afectan además al menos, al 20% del importe del presupuesto de la obra.

1.9.1 DATOS DE LA OBRA

Por otra parte, en un plazo máximo de dos meses después de la terminación de los trabajos, se actualizarán los diversos planos y documentos existentes, de acuerdo con las características de la obra terminada.

1.9.2 REPLANTEO DE LA OBRA

El Director de Obra, deberá hacer el replanteo de las mismas, con especial atención en los puntos singulares. El acta de comprobación de replanteo reflejará la conformidad o disconformidad del mismo respecto de los documentos contractuales del proyecto, con especial y expresa referencia a las características geométricas de la obra, a la autorización para la ocupación de los terrenos necesarios y a cualquier punto que pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Caso de que el Contratista, sin formular reservas sobre la viabilidad del proyecto, hubiera hecho otras observaciones que puedan afectar a la ejecución de la obra, consideradas tales observaciones, decidirá iniciar o suspender el comienzo de la obra, justificándolo en la propia acta.

La presencia del contratista en el acta de comprobación de replanteo podrá suplirse por la de un representante debidamente autorizado, quien asimismo suscribirá el acta correspondiente.

Un ejemplar del acta se remitirá a la Administración, otro se entregará al contratista y un tercero a la dirección. Todos los gastos que se originan como consecuencia de la comprobación del replanteo, serán por cuenta del Contratista.

1.9.3 MODIFICACIONES ACORDADAS COMO CONSECUENCIA DE LA COMPROBACIÓN DE REPLANEIO

Si como consecuencia de la comprobación del replanteo se deduce la necesidad de introducir modificaciones en el proyecto, el Director redactará en el plazo de quince días, y sin perjuicio de la remisión inmediata del acta, una estimación razonable del importe de aquellas modificaciones.

Si la propiedad decide la modificación del proyecto, se procederá a redactar las modificaciones precisas para su viabilidad, acordando la suspensión temporal, total o parcial de la obra y ordenando en este último caso la iniciación de los trabajos en aquellas partes no afectadas por las modificaciones previstas en el proyecto.

1.9.4 EJECUCIÓN DE LAS OBRAS

Condiciones y en el Pliego Particular si lo hubiera y de acuerdo con las especificaciones señaladas en el de Condiciones Técnicas.

En el programa de trabajo a presentar, en su caso, por el contratista se deberán incluir los siguientes datos:

- a) Ordenación en partes o clases de obra de las unidades que integran el proyecto, con expresión de volumen de éstas.
- b) Determinación de los medios necesarios, tales como personal, instalaciones, equipos y materiales, con expresión de sus rendimientos medios.
- c) Estimación en días calendario de los plazos de ejecución de las diversas obras u operaciones preparatorias, equipo e instalaciones y de los de ejecución de las diversas partes o clases de obra.
- d) Valoración mensual y acumulada de la obra programada, sobre la base de las obras y operaciones preparatorias, equipo e instalaciones y partes o de la de obra a precios unitarios.
- e) Gráficos de las diversas actividades o trabajos.

1.9.5 PLAZO DE EJECUCIÓN

Los plazos de ejecución, total y parciales, indicados en el contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo.

Es obligado cumplir con los plazos que se señalen en el contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables.

Los plazos parciales corresponderán a la terminación y puesta a disposición de determinados elementos, obras o conjuntos de obras, que se consideren necesarios para la prosecución de otras fases de la construcción o del montaje.

Estas obras o conjunto de obras que condicionan un plazo parcial, se definirán bien por un estado de dimensiones, bien por la posibilidad de prestar en ese momento y sin restricciones, el uso, servicio o utilización que de ellas se requiere.

Si por cualquier causa, no fuera posible empezar en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidas una vez empezadas, se concederá por el Director de Obra, la prórroga estrictamente necesaria.

1.10 PRECIOS CONTRADICTORIOS

Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar unidades de obra que no figuren en el presupuesto del proyecto base del contrato se procederá a la fijación de los precios contradictorios.

La propuesta del Director sobre los nuevos precios a fijar se basará en cuanto resulte de aplicación, en los costes elementales fijados en la descomposición de los precios unitarios

integrados en el contrato, y en cualquier caso en los costes que correspondiesen a la fecha en que tuvo lugar la licitación del mismo.

Los nuevos precios, una vez aprobados por la Administración, se considerarán incorporados a todos los efectos a los cuadros de precios del proyecto que sirvió de base para el contrato.

1.11 INDEMNIZACIONES POR CUENTA DEL CONTRATISTA

Será obligación del contratista indemnizar los daños que se causen a la propiedad o al personal dependiente de la misma, por iguales causas y con idénticas excepciones que las que con referencias a terceros señala el artículo 134 del Reglamento General de Contratación.

1.12 INDEMNIZACIONES AL CONTRATISTA POR CAUSAS DE FUERZA MAYOR

El contratista tendrá derecho a ser indemnizado por la propiedad en los casos y forma que determina y establece el Reglamento General de Contratación, si bien en el expediente deberá acreditar que, previamente al suceso, había tomado las medidas y precauciones razonables para prevenir y evitar, en lo posible, que las unidades de obra ejecutadas y los materiales acopiados en la obra pudieran sufrir daños por eventos de la naturaleza.

En la valoración de los daños causados se tendrá en cuenta la adopción de las medidas y precauciones razonables por parte del contratista, a fin de segregar de aquellos daños que se hubiesen podido evitar, de haberse tomado las medidas oportunas previas o inmediatamente después de acaecer el hecho causa de los daños.

1.13 OBJETOS HALLADOS EN LAS OBRAS

El Estado se reserva la propiedad de los objetos de arte, antigüedades, monedas y, en general, objetos de todas clases que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en terrenos del Ayuntamiento o expropiados para la ejecución de la obra, sin perjuicio de los derechos que legamente correspondan a terceros.

El contratista tiene la obligación de emplear todas las precauciones que para la extracción de tales objetos le sean indicados por la Dirección y derecho a que se le abone el exceso de gastos que tales trabajos le causen.

El contratista está también obligado a advertir a su personal de los derechos del Estado sobre este extremo, siendo responsable subsidiario de las sustracciones o desperfectos que pueda ocasionar el personal empleado en la obra.

1.14 MEDIDAS PARA EVITAR CONTAMINACIONES

El contratista adoptará las medidas necesarias para evitar la contaminación de cauces, conducciones y depósitos de agua, por efecto de los combustibles, aceites o cualquier otro material perjudicial.

1.15 LICENCIAS Y PERMISOS

El contratista deberá obtener a su costa todos los permisos o licencias necesarios para la ejecución las obras, con excepción de los correspondientes a expropiaciones, servidumbre y servicios definidos en el contrato.

1.16 REVISIÓN DE PRECIOS

La fórmula de aplicación de la junta Consultiva de Contratación Administrativa será la siguiente:

$$K_t = 0,33 \cdot \frac{H_t}{H_0} + 0,16 \cdot \frac{E_t}{E_0} + 0,20 \cdot \frac{C_t}{C_0} + 0,16 \cdot \frac{S_t}{S_0} + 0,15$$

Siendo:

- K = Coeficiente total de revisión.
- H = Índice de coste de la mano de obra total utilizada.
- E = Índice de coste de la energía.
- C = índice de coste del cemento.
- S = índice de coste de materiales siderúrgicos o acero.

Corresponde el subíndice "t" al mes en que se ejecutan los trabajos, y el subíndice "0" a la fecha de licitación de la obra.

El veinte por ciento (20 %) primero de la obra contratada no tiene derecho a revisión de precios.

1.17 SUSPENSIÓN TEMPORAL DE LAS OBRAS

Si la suspensión temporal afecta a una o varias partes o clases de la obra contratada, se utilizará la denominación "Suspensión temporal parcial" en el texto del acta de suspensión y en toda la documentación que haga referencia a la misma; si afecta a la totalidad de la obra contratada, se utilizará la denominación "Suspensión temporal total" en los mismos documentos. En ningún caso se utilizará la denominación "Suspensión temporal" sin concretar el alcance de la misma.

Siempre que la propiedad acuerde una suspensión temporal, parcial o total de la obra o una suspensión definitiva, se deberá levantar la correspondiente acta de suspensión, que deberá ir firmada por el Director y el contratista, y en la que se hará constar el acuerdo de la propiedad que originó la suspensión definiéndose concretamente la parte o partes o la totalidad de la obra afectadas por aquélla.

Al acta se debe acompañar, como anejo y en relación con la parte o partes suspendidas, la medición tanto de la obra ejecutada en dicha o dichas partes como de los materiales acopiados a pie de obra utilizables exclusivamente en las mismas. La Dirección remitirá un ejemplar del acta de suspensión y su anejo a la propiedad.

Si la propiedad, para acordar una suspensión temporal que exceda del período de tiempo que para estos efectos fijen las disposiciones vigentes, tuviese que abonar daños y perjuicios al contratista, su determinación atenderá, entre otros factores, a la perturbación que la suspensión hubiera producido en el ritmo de ejecución previsto en el programa de trabajos, con la consiguiente repercusión en la utilización de maquinaria y de personal y a la relación que

represente el importe de las partes de obra a que alcanza la suspensión con el presupuesto total de la obra contratada.

1.18 DOCUMENTOS CONTRACTUALES

Tienen obligatoriamente el carácter de contractual:

- Los Planos.
- El Pliego de Condiciones.
- Los Cuadros de Precios.

El resto de la documentación, es información fundada del Proyectista, que el Contratista recabará por sus propios medios.

1.19 NOTIFICACIÓN DE TERMINACIÓN DE OBRA

El contratista o su delegado, comunicará por escrito a la Dirección la fecha prevista para la terminación de la obra.

El Director, en caso de conformidad con la citada comunicación del contratista, la elevará con su informe, a la propiedad, a los efectos de que ésta proceda al nombramiento de un representante para la recepción provisional.

1.20 INSPECCIÓN DE LAS OBRAS

Incumbe a la propiedad, ejercer de una manera continuada y directa, la inspección de la Obra durante su ejecución a través de la Dirección de Obra, sin perjuicio de que pueda confiar tales funciones de un modo complementario a cualquier otro de sus órganos y representantes.

1.21 RECEPCIÓN Y PLAZO DE GARANTÍA

A la recepción de las obras a su terminación concurrirá un facultativo designado por la Administración representante de ésta, el facultativo encargado de la dirección de las obras y el contratista asistido, si lo estima oportuno, de su facultativo.

Si se encuentran las obras en buen estado y con arreglo a las prescripciones previstas, el funcionario técnico designado por la Administración contratante y representante las dará por recibidas, levantándose la correspondiente acta y comenzando entonces el plazo de garantía.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar así en el acta y el director de las mismas señalará los defectos observados y detallará las instrucciones precisas fijando un plazo para remediar aquéllos. Si transcurrido dicho plazo el contratista no lo hubiere efectuado, podrá concedérsele otro nuevo plazo improrrogable o declarar resuelto el contrato.

El plazo de garantía se establecerá en el pliego de cláusulas administrativas particulares atendiendo a la naturaleza y complejidad de la obra y no podrá ser inferior a un año, salvo casos especiales.

1.22 LIBRE ACCESO A LA PROPIEDAD EN LA OBRA

En todo momento la propiedad (en la figura del Director de obra) posee el derecho de acceso en la obra y el conjunto de sus instalaciones.

1.23 RESPONSABILIDAD POR VICIOS OCULTOS

Si la obra se arruina con posterioridad a la expiración del de garantía por vicios ocultos de la construcción, debido al incumplimiento del contrato por parte del contratista, responderá éste de los daños y perjuicios durante el término de quince años a contar desde la recepción.

Transcurrido este plazo sin que se haya manifestado ningún daño o perjuicio, quedará totalmente extinguida la responsabilidad del contratista.

2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1 CONTROL DE CALIDAD DE LA EJECUCIÓN

Se establecerán los controles necesarios para que la obra en su ejecución cumpla con todos los requisitos especificados en el presente pliego de condiciones.

2.2 DOCUMENTO FINAL DE OBRA

Durante la obra o una vez finalizada la misma el técnico responsable como Director de Obra podrá verificar que los trabajos realizados están de acuerdo con el Proyecto y especificaciones de Calidad en la ejecución.

Una vez finalizadas las obras, se deberá solicitar la recepción del trabajo, en ella se incluirá la medición de la conductividad de la toma de tierra y las pruebas de aislamiento de los cables.

A la conclusión del trabajo se confeccionarán los planos finales de obra que se entregarán inmediatamente acabada ésta y en el que figurarán todos los detalles singulares que se hubieran puesto de manifiesto durante la ejecución de la misma.

La escala del plano será la necesaria y contendrá la topografía urbanística real con el correspondiente nombre de las parcelas existentes. En este figurarán las anotaciones precisas para su exacta situación, distancias, profundidades, etc.

Asimismo, constarán los cruzamientos, paralelismos y detalles de interés respecto a otros servicios como conducciones de agua, gas, electricidad comunicación y alcantarillado.

De vital importancia será la anotación puntual de defectos corregidos en situaciones antirreglamentarias halladas durante el tendido, así como las adoptadas frente a puntos conflictivos que se hayan dado durante el mismo y que pudieran afectar a la normativa vigente de seguridad.

Con la entrega del plano se acompañará el certificado final de obra para su legalización, así como el certificado de reconocimiento de cruzamientos y paralelismos de las instalaciones.

El formato de los Planos será el establecido en la norma de la empresa correspondiente.

2.3 LIBRO DE INCIDENCIAS

Para el control y seguimiento del proyecto existirá un libro de incidencias habilitado al efecto, que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que apruebe el mismo.

El libro de incidencias, que deberá mantenerse siempre en la obra, estará en poder de la dirección facultativa. A dicho libro tendrán acceso la dirección facultativa de la obra, los contratistas y subcontratistas y los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas que intervengan en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de los órganos especializados en materia de seguridad y salud en el trabajo de las Administraciones públicas competentes, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo, relacionadas con los fines que se le reconocen al libro.

Efectuada una anotación en el libro de incidencias la dirección facultativa estará obligada a remitir, en el plazo de veinticuatro horas, una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social del estado en que se realiza. Igualmente deberán notificar las anotaciones en el libro al contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste.

2.3.1 PARALIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

Cuando el coordinador en materia de seguridad y salud, durante la ejecución de la obra, o cualquier otra persona integrada en la dirección facultativa, observase incumplimiento de las medidas de seguridad y salud, advertirá al contratista de ello, dejando constancia de tal incumplimiento en el libro de incidencias.

En circunstancias de riesgo grave e inminente para la seguridad y salud de los trabajadores, dispondrá la paralización de los tajos o, en su caso, de la totalidad de la obra, y dará cuenta a los efectos oportunos a la inspección de Trabajo y Seguridad Social correspondiente, a los contratistas y en su caso subcontratistas afectados por la paralización y a los representantes de los trabajadores de éstos.

2.3.2 TRABAJOS NOCTURNOS

Deberán ser previamente autorizados por el Director de Obra y que expresamente él lo indique. El Contratista en este supuesto, habilitará la suma de trabajo con la iluminación adecuada a tal efecto.

2.3.3 DEMOLICIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DEFECTUOSAS O MAL EJECUTADAS

Si se advierten vicios o defectos en la construcción o se tienen razones fundadas para creer que existen ocultos en la obra ejecutada, la Dirección ordenará, durante el curso de la ejecución siempre antes de la recepción definitiva, la demolición y reconstrucción de las unidades de obra en que se den aquellas circunstancias o las acciones precisas para comprobar la existencia de tales efectos ocultos.

Si la Dirección ordena la demolición y reconstrucción por advertir vicios o defectos patentes en la construcción, los gastos de esas operaciones serán de cuenta del contratista, en derecho de éste a reclamar ante la propiedad en el plazo de diez días, contados a partir de la notificación escrita de la Dirección.

En el caso de ordenarse la demolición y reconstrucción de unidades de obra por creer existentes en ellas vicios o defectos ocultos, los gastos incumbirán también al contratista, si resulta comprobada la existencia de aquellos vacíos o defectos; caso contrario correrán a cargo de la propiedad.

Si la Dirección estima que las unidades de obra defectuosas y que no cumplen estrictamente las condiciones del contrato son, sin embargo, admisibles, puede proponer a la propiedad la aceptación de las mismas, con la consiguiente rebaja de los precios. El contratista queda obligado a aceptar los precios rebajados fijados por la propiedad, a no ser que prefiera demoler y reconstruir las unidades defectuosas por su cuenta y con arreglo a las condiciones del contrato.

Cuando sea necesario introducir modificaciones en el Proyecto de las obras que rige el contrato, el Director de Obra redactará la oportuna propuesta, integrada por los documentos que justifiquen, describan y valoren aquella. Su aprobación por la propiedad requerirá la previa audiencia del Contratista, el informe de la Oficina de Supervisión de Proyectos y la fiscalización del Gasto.

Una vez aprobada la propuesta, la propiedad facilitará al Contratista una copia de la misma, debidamente firmada por el Director de Obra.

2.3.4 MODIFICACIONES DEL PROYECTO

Se podrán introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y una supresión de las unidades de obra marcadas en el presupuesto, o sustitución de una clase de fábrica por otra, siempre que esta sea de las comprendidas en el contrato.

Cuando se trate de aclarar o interpretar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes o instrucciones se comunicarán exclusivamente por escrito.

No se admitirán mejoras de obra más que en el caso de que la Dirección de la Obra haya ordenado por escrito, la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, o salvo que la Dirección de Obra, ordene también por escrito la ampliación de las contratadas. Se seguirá el mismo criterio y procedimiento, cuando se quieran introducir innovaciones que supongan una reducción apreciable en las unidades de obra contratadas.

2.3.5 VARIACIONES EN EL PLAZO DE EJECUCIÓN CONSECUENCIA DE LAS MODIFICACIONES

Acordada por la Administración la redacción de modificaciones del proyecto que impliquen la imposibilidad de continuar ejecutando determinadas partes de la obra contratada, deberá acordarse igualmente la suspensión temporal, parcial o total de la obra.

En cuanto a la variación en más o en menos de los plazos que se deriven de la ejecución de las modificaciones del proyecto aprobadas, se estará sujeto a lo establecido en el artículo 149 del Reglamento General de Contratación, sin perjuicio de lo que proceda si hubiera habido lugar en suspensión temporal, parcial o total.

2.3.6 AVISO PREVIO E INFORMACIÓN A LA AUTORIDAD LABORAL

El promotor avisará a la autoridad laboral competente antes del comienzo de los trabajos. El aviso previo se redactará con el contenido siguiente:

- Fecha.
- Dirección exacta de la obra.
- Promotor (nombre/s y dirección/direcciones).
- Tipo de obra.

- Proyectista/s (nombre/s y dirección/direcciones).
- Coordinador/es en materia de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto de obra (nombre/s y dirección/direcciones).
- Coordinador/es en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra (nombre/s y dirección/direcciones).
- Fecha prevista para el comienzo de la obra.
- Duración prevista de los trabajos de la obra.
- Número máximo estimado de trabajadores en la obra.
- Número previsto de contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos en la obra.
- Datos de identificación de contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos ya seleccionados.

2.4. EQUIPOS DE MAQUINARIA

El contratista queda obligado a aportar a las obras el equipo de maquinaria y medios auxiliares que sea preciso para la buena ejecución de aquellas en los plazos parciales y total convenidos en el contrato.

En el caso de que para la adjudicación del contrato hubiese sido condición necesaria la aportación por el contratista de un equipo de maquinaria y medios auxiliares concreto y detallado, el Director exigirá aquella aportación en los mismos términos y detalle que se fijaron en tal ocasión.

EL equipo quedará adscrito a la obra en tanto se hallen en ejecución las unidades en que ha de utilizarse, en la inteligencia de que no podrá retirarse sin consentimiento expreso del Director y debiendo ser remplazado los elementos averiados e inutilizados siempre que su reparación exija plazos que aquél estime han de alterar el programa de trabajo.

Cada elemento de los que constituyen el equipo será reconocido por la Dirección, anotándose sus altas y bajas de puesta en obra en el inventario del equipo. Podrá también rechazar cualquier elemento que considere inadecuado para el trabajo en la obra, con derecho del contratista a reclamar frente a tal resolución ante la Administración en el plazo de diez días, contados a partir de la notificación que se haga por escrita el Director.

El equipo aportado por el contratista quedará de libre disposición del mismo a la concesión de la obra, salvo estipulación contraria.

El contratista no podrá efectuar reclamación alguna fundada en la insuficiencia de la dotación o del equipo de propiedad que hubiera podido prever para la ejecución de la obra, aun cuando éste estuviese detallado en alguno de los documentos del proyecto.

2.4.1 ENSAYOS

La Dirección de Obra podrá ordenar que se verifiquen los ensayos y análisis de materiales, hasta el 1% del Presupuesto de Ejecución del Proyecto, siendo dicho importe con cargo del Contratista.

2.5 ACCESO A LA OBRA Y TRÁFICO

El acceso a la obra será cómodo y sin entrañar peligro alguno. El tráfico estará regulado en el interior de la obra según las normas habituales de circulación salvo orden expresa del Director de la obra. Esto no tendrá validez en el caso de uso de caminos o carreteras públicas, que no hayan sido cortadas para este menester, donde necesariamente se cumplirán las normas de circulación.

Todos los gastos acarreados en el concepto de este artículo son por cuenta del contratista.

2.6 SERVIDUMBRES

EL contratista está obligado a mantener provisionalmente durante la ejecución de la obra y a reponer a su finalidad todas aquellas servidumbres que necesite y relacione en el contrato. Tal relación podrá ser rectificada como consecuencia de la comprobación del replanteo o de necesidades surgidas durante su ejecución.

Son de cuenta del contratista Los trabajos necesarios para el mantenimiento y reposición de tales servidumbres.

También tendrá que reponer aquellas servidumbres existentes con anterioridad al contrato que pudieran haberse omitido en la referida relación, si bien en este caso tendrá derecho a que se le abonen los gastos correspondientes.

Incumbe a la propiedad promover las actuaciones precisas para las modificaciones que se deban introducir en las servidumbres que sean consecuencia de concesiones administrativas existentes antes de comenzar la obra. En este caso, la imputación de los gastos de tales modificaciones se regirá exclusivamente por los términos de la propia concesión afectada, por las legislaciones específicas de tales concesiones o por la Ley de Expropiación Forzosa, en su caso.

2.7 SEÑALIZACIÓN DE LA OBRA

El contratista está obligado a instalar las señales precisas para indicar el acceso a la obra, la circulación en la zona que ocupan los trabajos y los puntos de posible peligro debido a la marcha de aquellos, tanto en dicha zona como en sus lindes o inmediaciones.

El contratista cumplirá las órdenes que reciba por escrito de la Dirección acerca de instalación de señales complementarias o modificación de las que haya instalado.

Los gastos que origine la señalización serán de cuenta del contratista.

2.8 PROCEDENCIA Y APROVECHAMIENTO DE MATERIALES

El contratista tiene libertad para obtener los materiales naturales de las obras de puntos que tenga por conveniente, siempre que los mismos reúnan las condiciones exigidas en el presente pliego de prescripciones técnicas. En el caso de que la propiedad hubiese establecido una concreta procedencia de aquellos materiales en el contrato, y posteriormente, fuese imprescindible.

El contratista puede aprovechar, con destino a la obra contratada, las sustancias minerales que se encuentren en terrenos del Estado o del Ayuntamiento, incluso de naturaleza comunal, así como abrir y explotar canteras en ellos, con sujeción a las normas y prescripciones establecidas por el ente público titular de aquellos, con obligación de darle aviso anticipado de sus actividades previstas y respetando o reponiendo las servidumbres existentes, así como adoptando las medidas oportunas para no perturbar el libre y seguro uso de dichos terrenos.

Los materiales o productos resultantes de excavaciones, demoliciones o talas que no utilice el contratista en la obra y puedan aprovecharse en cualquiera otra del Estado serán acopiados por aquél en los puntos y forma que ordene la Dirección, siéndole de abono los gastos suplementarios de transporte, vigilancia y almacenamiento. En cualquier otro caso y previa autorización por escrito del Director, el contratista podrá disponer libremente de aquellos.

3. CONDICIONES INSTALACIÓN DE GAS

3.1 PRUEBAS

3.1.1 RED DE DISTRIBUCIÓN DE GAS

En el caso de tratarse de tuberías aéreas se debe realizar una inspección visual para controlar que no existan corrosiones, en caso de existir se debe sanear la tubería y proceder a repintarla. Para el control de estanqueidad se debe utilizar agua jabonosa en las juntas de válvulas, accesorios, etc. Con una periodicidad comprobando los resultados de la misma mediante manotermómetro.

No deben utilizarse las tuberías como puntos de apoyo o sustentación de ningún elemento.

Si se trata de tuberías enterradas y estas disponen de protección catódica, debe vigilarse el potencial de las mismas con objeto de que este sea inferior a -0,85 Volt. Con respecto al electrodo impolarizable de Cu-SO₄CU.

En las tuberías enterradas se recomienda realizar, al igual que en las tuberías aéreas, una prueba de estanqueidad con una periodicidad de cuatro años.

3.1.2 CONTROL DE SOLDADURAS

Las soldaduras se inspeccionarán de manera visual.

3.1.3 PRUEBA DE RESISTENCIA MECÁNICA

Antes de su puesta en servicio, la acometida interior deberá someterse a una prueba de resistencia mecánica con agua a una presión igual a 1,5 veces la presión máxima de suministro. La duración de la prueba tendrá sin excepción una duración mínima de 6 horas, a partir del momento en que se haya estabilizado la presión de prueba.

El elemento de control será preferentemente un registrador de presión y temperatura y deberá trabajar entre el 50 y el 90% de su fondo de escala de presión.

3.1.4 PRUEBA DE ESTANQUEIDAD

La prueba de estanqueidad se podrá hacer con gas inerte o excepcionalmente aire a una presión igual o superior a 5 bares, o con agua, en cuyo caso se realizará a la presión de prueba fijada para los ensayos de resistencia mecánica efectuados con agua.

En cualquier caso, la duración de la prueba será, como mínimo de 24 horas, a partir del momento en que se haya estabilizado la presión y temperatura del fluido.

En las pruebas de resistencia y estanqueidad los elementos de control estarán verificados por un laboratorio reconocido por la Administración.

3.1.5 ENSAYO DE RIGIDEZ DIELECTRICA

Inmediatamente antes de ser enterrada la canalización se debe comprobar el buen estado del revestimiento, mediante un detector de rigidez dieléctrica por salto de chispa tarado a 10 kV como mínimo u otro procedimiento similar, quedando registro de esta prueba.

3.1.6 PUESTA EN SERVICIO

El llenado de gas de la instalación de distribución se debe efectuar de manera que se evite la formación de mezcla aire-gas comprendido entre los límites de inflamabilidad del gas. Para ello la introducción del gas se efectuará a una velocidad que reduzca el riesgo de mezcla inflamable en la zona de contacto o se separarán ambos fluidos con un tapón de gas inerte o pistón de purga.

Asimismo, el procedimiento de purgado de una instalación se realizará de forma controlada.

3.2 CONDICIONES DE USO, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD

3.2.1 PUESTA EN SERVICIO DE LA INSTALACIÓN RECEPTORA

En general, para la puesta en servicio de una instalación receptora se deberá comprobar que quedan cerradas, bloqueadas y precintadas las llaves de inicio de las instalaciones individuales que no se vayan a poner en servicio en ese momento, así como las llaves de conexión de aquellos aparatos de gas pendientes de instalación o pendientes de poner en marcha. Además, se taponarán dichas llaves en caso de que la instalación individual, o el aparato correspondiente, estén pendientes de instalación. Asimismo, se deberán purgar las instalaciones que vayan a quedar en servicio, asegurándose que al terminar no existe mezcla de aire-gas dentro de los límites de inflamabilidad en el interior de la instalación dejada en servicio.

3.2.2 CONEXIÓN Y PUESTA EN SERVICIO DE LOS APARATOS DE GAS

La conexión de los aparatos a gas a instalaciones receptoras se deberá realizar según lo indicado en la UNE 60670-7, y siempre por un instalador de gas autorizado de categoría A.

La puesta en marcha de los aparatos a gas podrá realizarse por alguno de los siguientes agentes:

- El servicio de asistencia técnica del fabricante, siempre que posea un sistema de calidad certificado.
- Una empresa instaladora de gas de categoría A o de categoría B si cumple los requisitos adicionales establecidos en el apartado 4 de la ITC-ICG 09, es decir que posea acreditación del fabricante del aparato a tal fin o que posea certificación de una entidad acreditada para la certificación de personas (según RD 2200/19959).

El agente que realice la puesta en marcha de un aparato a gas deberá emitir y entregar al cliente un certificado de puesta en marcha según se establece en el anexo 4 de la ITC-ICG 08.

3.2.3 MANTENIMIENTO DE LA INSTALACIÓN RECEPTORA

El titular de la instalación, será el responsable del mantenimiento, conservación, explotación y buen uso de la instalación de tal forma que se halle permanentemente en servicio, con el nivel de seguridad adecuado.

Se deberán realizar inspecciones periódicas de las instalaciones receptoras cada 5 años de acuerdo con lo establecido en la norma UNE 60620-6, consistiendo básicamente en la comprobación de la estanquidad de la instalación receptora y la verificación del buen estado de conservación de la misma, la combustión higiénica de los aparatos y la correcta evacuación de los productos de la combustión.

3.3 CERTIFICADOS Y DOCUMENTOS

El titular de la instalación deberá poseer los siguientes documentos:

- Ejemplar del Proyecto Técnico de la Instalación, copia fidedigna del presentado ante la Administración.
- Copia de la Certificación de Dirección y Terminación de Obra con las variaciones y modificaciones que se hubieran producido durante la ejecución de las instalaciones, así como con los valores de las mediciones efectuadas.
- Certificados de la empresa instaladora autorizada (incluyendo actas de pruebas realizadas, con los gráficos de los resultados, así como los resultados de las radiografías de las soldaduras realizadas).

4. CONDICIONES INSTALACIÓN ELÉCTRICA

4.1 CONDICIONES GENERALES

Todos los materiales a emplear en la presente instalación serán de primera calidad y reunirán las condiciones exigidas en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y demás disposiciones vigentes referentes a materiales y prototipos de construcción.

Todos los materiales podrán ser sometidos a los análisis o pruebas, por cuenta de la contrata, que se crean necesarios para acreditar su calidad. Cualquier otro que haya sido especificado y sea necesario emplear deberá ser aprobado por la Dirección Técnica, bien entendiendo que será rechazado el que no reúna las condiciones exigidas por la buena práctica de la instalación.

Los materiales no consignados en proyecto que dieran lugar a precios contradictorios reunirán las condiciones de bondad necesarias, a juicio de la Dirección Facultativa, no teniendo el contratista derecho a reclamación alguna por estas condiciones exigidas.

Todos los trabajos incluidos en el presente proyecto se ejecutarán esmeradamente, con arreglo a las buenas prácticas de las instalaciones eléctricas, de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, y cumpliendo estrictamente las instrucciones recibidas por la Dirección Facultativa, no pudiendo, por tanto, servir de pretexto al contratista la baja en subasta, para variar esa esmerada ejecución ni la primerísima calidad de las instalaciones proyectadas en cuanto a sus materiales y mano de obra, ni pretender proyectos adicionales.

4.2 CANALIZACIONES ELÉCTRICAS.

Los cables se colocarán dentro de tubos o canales, fijados directamente sobre las paredes, enterrados, directamente empotrados en estructuras, en el interior de huecos de la construcción, bajo molduras, en bandeja o soporte de bandeja, según se indica en los distintos documentos del proyecto.

Antes de iniciar el tendido de la red de distribución, deberán estar ejecutados los elementos estructurales que hayan de soportarla o en los que vaya a ser empotrada: forjados, tabiquería, etc. Salvo cuando al estar previstas se hayan dejado preparadas las necesarias canalizaciones al ejecutar la obra previa, deberá replantearse sobre ésta en forma visible la situación de las cajas de mecanismos, de registro y protección, así como el recorrido de las líneas, señalando de forma conveniente la naturaleza de cada elemento.

4.2.1 CONDUCTORES AISLADOS EN BANDEJA O SOPORTE DE BANDEJAS

Sólo se utilizarán conductores aislados con cubierta (incluidos cables armados o con aislamiento mineral), unipolares o multipolares según norma UNE 20.460 -5-52.

El material usado para la fabricación será acero laminado de primera calidad, galvanizado por inmersión. La anchura de las canaletas será de 100 mm como mínimo, con incrementos de 100 en 100 mm. La longitud de los tramos rectos será de dos metros. El fabricante indicará en su catálogo la carga máxima admisible, en N/m, en función de la anchura y de la distancia entre

soportes. Todos los accesorios, como codos, cambios de plano, reducciones, tes, uniones, soportes, etc., tendrán la misma calidad que la bandeja.

Las bandejas y sus accesorios se sujetarán a techos y paramentos mediante herrajes de suspensión, a distancias tales que no se produzcan flechas superiores a 10 mm y estarán perfectamente alineadas con los cerramientos de los locales.

No se permitirá la unión entre bandejas o la fijación de las mismas a los soportes por medio de soldadura, debiéndose utilizar piezas de unión y tornillería cadmiada. Para las uniones o derivaciones de líneas se utilizarán cajas metálicas que se fijarán a las bandejas.

4.2.2 NORMAS DE INSTALACIÓN EN PRESENCIA DE OTRAS CANALIZACIONES NO ELÉCTRICAS

En caso de proximidad de canalizaciones eléctricas con otras no eléctricas, se dispondrán de forma que entre las superficies exteriores de ambas se mantenga una distancia mínima de 3 cm. En caso de proximidad con conductos de calefacción, de aire caliente, vapor o humo, las canalizaciones eléctricas se establecerán de forma que no puedan alcanzar una temperatura peligrosa y, por consiguiente, se mantendrán separadas por una distancia conveniente o por medio de pantallas calorífugas.

Las canalizaciones eléctricas no se situarán por debajo de otras canalizaciones que puedan dar lugar a condensaciones, tales como las destinadas a conducción de vapor, de agua, de gas, etc., a menos que se tomen las disposiciones necesarias para proteger las canalizaciones eléctricas contra los efectos de estas condensaciones.

4.2.3 ACCESIBILIDAD A LAS INSTALACIONES

Las canalizaciones deberán estar dispuestas de forma que faciliten su maniobra, inspección y acceso a sus conexiones. Las canalizaciones eléctricas se establecerán de forma que, mediante la conveniente identificación de sus circuitos y elementos, se pueda proceder en todo momento a reparaciones, transformaciones, etc.

En toda la longitud de los pasos de canalizaciones a través de elementos de la construcción, tales como muros, tabiques y techos, no se dispondrán empalmes o derivaciones de cables, estando protegidas contra los deterioros mecánicos, las acciones químicas y los efectos de la humedad.

Las cubiertas, tapas o envoltentes, mandos y pulsadores de maniobra de aparatos tales como mecanismos, interruptores, bases, reguladores, etc., instalados en los locales húmedos o mojados, serán de material aislante.

4.3 CONDUCTORES

Los conductores utilizados se regirán por las especificaciones del proyecto, según se indica en los distintos documentos del mismo: conductores de cobre unipolares, de 450/750V de tensión nominal y aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) o etileno propileno (ERP).

Los conductores de cobre electrolítico se fabricarán de calidad y resistencia mecánica uniforme, y su coeficiente de resistividad a 20 °C será del 98 % al 100 %. Irán provistos de baño de recubrimiento de estaño, que deberá resistir la siguiente prueba: A una muestra limpia y seca

de hilo estañado se le da la forma de círculo de diámetro equivalente a 20 o 30 veces el diámetro del hilo, a continuación de lo cual se sumerge durante un minuto en una solución de ácido hidrociorídrico de 1,088 de peso específico a una temperatura de 20 °C. Esta operación se efectuará dos veces, después de lo cual no deberán apreciarse puntos negros en el hilo. La capacidad mínima del aislamiento de los conductores será de 500 V.

4.4 CAJAS DE EMPALME

Las conexiones entre conductores se realizarán en el interior de cajas apropiadas de material plástico resistente incombustible o metálicas, en cuyo caso estarán aisladas interiormente y protegidas contra la oxidación. Las dimensiones de estas cajas serán tales que permitan alojar holgadamente todos los conductores que deban contener. Su profundidad será igual, por lo menos, a una vez y media el diámetro del tubo mayor, con un mínimo de 40 mm; el lado o diámetro de la caja será de al menos 80 mm. Cuando se quieran hacer estancas las entradas de los tubos en las cajas de conexión, deberán emplearse prensaestopas adecuados. En ningún caso se permitirá la unión de conductores, como empalmes o derivaciones por simple retorcimiento o arrollamiento entre sí de los conductores, sino que deberá realizarse siempre utilizando bornes de conexión.

Los conductos se fijarán firmemente a todas las cajas de salida, de empalme y de paso, mediante contratuerca y casquillos. Se tendrá cuidado de que quede al descubierto el número total de hilos de rosca al objeto de que el casquillo pueda ser perfectamente apretado contra el extremo del conducto, después de lo cual se apretará la contratuerca para poner firmemente el casquillo en contacto eléctrico con la caja.

Los conductos y cajas se sujetarán por medio de pernos de fiador en ladrillo hueco, por medio de pernos de expansión en hormigón y ladrillo macizo y clavos Split sobre metal. Los pernos de fiador de tipo tornillo se usarán en instalaciones permanentes, los de tipo de tuerca cuando se precise desmontar la instalación, y los pernos de expansión serán de apertura efectiva. Serán de construcción sólida y capaces de resistir una tracción mínima de 20 kg. No se hará uso de clavos por medio de sujeción de cajas o conductos.

4.5 APARAMENTA DE MANDO Y PROTECCIÓN

4.5.1 CUADROS ELÉCTRICOS

Todos los cuadros eléctricos serán nuevos y se entregarán en obra sin ningún defecto. Estarán diseñados siguiendo los requisitos de estas especificaciones y se construirán de acuerdo con el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y con las recomendaciones de la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

Cada circuito en salida de cuadro estará protegido contra las sobrecargas y cortocircuitos. La protección contra corrientes de defecto hacia tierra se hará por circuito o grupo de circuitos según se indica en el proyecto, mediante el empleo de interruptores diferenciales de sensibilidad adecuada, según ITC-BT-24.

4.5.2 INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS

La protección contra sobrecargas para todos los conductores (fases y neutro) de cada circuito se hará con interruptores magnetotérmicos o automáticos de corte omnipolar, con curva térmica de corte para la protección a sobrecargas y sistema de corte electromagnético para la protección a cortocircuitos.

En general, los dispositivos destinados a la protección de los circuitos se instalarán en el origen de éstos, así como en los puntos en que la intensidad admisible disminuya por cambios debidos a sección, condiciones de instalación, sistema de ejecución o tipo de conductores utilizados. No obstante, no se exige instalar dispositivos de protección en el origen de un circuito en que se presente una disminución de la intensidad admisible en el mismo, cuando su protección quede asegurada por otro dispositivo instalado anteriormente.

4.5.3 PROTECCIÓN FRENTE A CONTACTOS DIRECTOS

La protección frente a contactos directos se asegurará adoptando las siguientes medidas:

- Protección por aislamiento de las partes activas. Las partes activas deberán estar recubiertas de un aislamiento que no pueda ser eliminado más que destruyéndolo.
- Protección por medio de barreras o envolventes. Las partes activas deben estar situadas en el interior de las envolventes o detrás de barreras que posean, como mínimo, el grado de protección IP XXB, según UNE20.324. Si se necesitan aberturas mayores para la reparación de piezas o para el buen funcionamiento de los equipos, se adoptarán precauciones apropiadas para impedir que las personas o animales domésticos toquen las partes activas y se garantizará que las personas sean conscientes del hecho de que las partes activas no deben ser tocadas voluntariamente.

4.6 CONTROL

Se realizarán cuantos análisis, verificaciones, comprobaciones, ensayos, pruebas y experiencias con los materiales, elementos o partes de la instalación que se ordenen por el Técnico Director de la misma, siendo ejecutados en laboratorio que designe la dirección, con cargo a la contrata.

Antes de su empleo en la obra, montaje o instalación, todos los materiales a emplear, cuyas características técnicas, así como las de su puesta en obra, han quedado ya especificadas en apartados anteriores, serán reconocidos por el Técnico Director o persona en la que éste delegue, sin cuya aprobación no podrá procederse a su empleo. Los que, por mala calidad, falta de protección o aislamiento u otros defectos no se estimen admisibles por aquél, deberán ser retirados inmediatamente. Este reconocimiento previo de los materiales no constituirá su recepción definitiva, y el Técnico Director podrá retirar en cualquier momento aquellos que presenten algún defecto no apreciado anteriormente, aún a costa, si fuera preciso, de deshacer la instalación o montaje ejecutados con ellos. Por tanto, la responsabilidad del contratista en el cumplimiento de las especificaciones de los materiales no cesará mientras no sean recibidos definitivamente los trabajos en los que se hayan empleado.

4.7 SEGURIDAD

En general, basándonos en la Ley de Prevención de Riesgos Laborales y las especificaciones de las normas NTE, se cumplirán, entre otras, las siguientes condiciones de seguridad:

- Siempre que se vaya a intervenir en una instalación eléctrica, tanto en la ejecución de la misma como en su mantenimiento, los trabajos se realizarán sin tensión, asegurándonos la inexistencia de ésta mediante los correspondientes aparatos de medición y comprobación.
- En el lugar de trabajo se encontrará siempre un mínimo de dos operarios. - Se utilizarán guantes y herramientas aislantes.
- Cuando se usen aparatos o herramientas eléctricos, además de conectarlos a tierra cuando así lo precisen, estarán dotados de un grado de aislamiento II, o estarán alimentados con una tensión inferior a 50 V mediante transformadores de seguridad.
- Serán bloqueados en posición de apertura, si es posible, cada uno de los aparatos de protección, seccionamiento y maniobra, colocando en su mando un letrero con la prohibición de maniobrarlo.
- No se restablecerá el servicio al finalizar los trabajos antes de haber comprobado que no exista peligro alguno.
- En general, mientras los operarios trabajen en circuitos o equipos a tensión o en su proximidad, usarán ropa sin accesorios metálicos y evitarán el uso innecesario de objetos de metal o artículos inflamables; llevarán las herramientas o equipos en bolsas y utilizarán calzado aislante, al menos, sin herrajes ni clavos en las suelas.
- Se cumplirán asimismo todas las disposiciones generales de seguridad de obligado cumplimiento relativas a seguridad, higiene y salud en el trabajo, y las ordenanzas municipales que sean de aplicación.

4.8 LIMPIEZA

Antes de la Recepción provisional, los cuadros se limpiarán de polvo, pintura, cascarillas y de cualquier material que pueda haberse acumulado durante el curso de la obra en su interior o al exterior.

5. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

En este apartado se detallarán los materiales y las características de los equipos que se utilizarán para la construcción y funcionamiento de este proyecto.

Toda la maquinaria e instalaciones de la planta deberán llevar el marcado CE y haber pasado los controles de calidad correspondientes para el cumplimiento de la normativa vigente.

Todo material y equipos a emplear en las obras cumplirá los requisitos del presente pliego y la dirección facultativa podrá desechar todo material y/o equipo que no reúna las características exigidas, comunicándolo por escrito al contratista, fijándole un plazo prudencial para la sustitución del mismo. Si finalizado el plazo, el material no ha sido sustituido, la dirección facultativa se encargará de ello, asumiendo los gastos el contratista.

5.1 CEMENTO

El cemento a utilizar será cemento Portland del tipo CEM II. Se entiende por cemento Portland el conglomerante hidráulico que se obtiene por mezcla íntima de calizas y arcillas con cocción de la mezcla hasta la sintetización y molienda del producto resultante, con una pequeña adición de yeso, a un grado de finura elevado.

5.2 HORMIGÓN

El hormigón se define como el material formado por la mezcla de cemento, áridos finos y gruesos y agua, y en circunstancia especiales, se le podrá añadir algún tipo de aditivos que hagan mejorar algunas de sus características. El hormigón a utilizar será del tipo HA 30/B/20/IIb+Q_b y del tipo HL-150/B/20 para el hormigón de limpieza.

5.3 ARMADURAS

Se definen como armadura de acero a emplear en hormigón armado al conjunto de barras de acero que se colocan en el interior de la masa de hormigón para ayudar a este a resistir los esfuerzos a los que está sometido. Las armaduras a emplear serán barras de acero corrugado B500S de 12 mm diámetro para las paredes y de 16 mm diámetro para las soleras.

5.4 COLECTOR

El colector deberá cumplir con la norma UNE-EN 1401 “Sistemas de canalización en materiales plásticos para saneamiento enterrado sin presión (PVC-U)”, que incluye las especificaciones de los tubos, accesorios y el sistema, una guía para la evaluación de la conformidad, y la práctica recomendada para la instalación. Además, se empleará un color marrón-naranja, propio de la red de saneamiento.

5.5 AGITADORES DEL DIGESTOR ANAEROBIO

Agitadores especialmente diseñados para trabajar en el entorno agresivo del digestor anaerobio. Las hélices mezcladoras se fabrican con la ayuda de herramientas especiales que garantizan la precisión milimétrica cuchilla tras cuchilla. Los motores eléctricos de los mezcladores están diseñados para trabajar en los entornos con riesgo de explosión de la EX Zona 1 o EX Zona 2. El mezclador de hélice se monta desde el exterior. El mezclador de hélice está soportado por dos enlaces superiores u opcionalmente por medio de un gato de cremallera y piñón y se puede ajustar de forma continua a cualquier ángulo de inclinación. El árbol de transmisión, la hélice y la placa de sellado son de acero inoxidable.

Característica de funcionamiento	
Motor	10 CV a 1450 rpm. 400V 50Hz. Fp=0,9.
Reductor	Con velocidad de salida a 44 rpm
Eje	Desmontable por acoplamiento rígido, de 70mm de diámetro
Turbina axial	De 2 palas. 2000mm de diámetro
Brida de anclaje	Cuadrada de 520x520
Materiales	
Eje	Acero inox. AISI 316L
Turbina	Acero inox. AISI 316L
Brida de anclaje	Acero al carbono
Plato de acoplamiento salida reductor	Acero inox. AISI 316L

Tabla 61 - Características de los agitadores del digestor anaerobio

5.6 MEDIDOR DE CALIDAD DEL BIOGÁS

Se debe utilizar un medidor de calidad de biogás para medir la producción continua de biogás y la concentración de metano. Las características principales del mismo serán:

- Capacidad de medición de hasta 100 m³/h.
- Carcasa de acero inoxidable.
- Sistema de medición por oscilación de respuesta rápida, que no se vea afectado por la humedad contenida en el biogás.
- Pantalla digital con muestra de datos y software de descarga de los mismos



Ilustración 59 - Medidor de calidad de biogás modelo

5.7 COMPRESOR DE PISTÓN

Los datos técnicos del compresor de pistón a instalar atenderán a las características mostradas en la siguiente tabla:

Características técnicas	
Capacidad de aspiración	≥ 2000 l/min
Presión de trabajo	8 bar
Potencia del motor	≤ 15 kW
Factor de potencia	$\geq 0,9$
Nivel de presión acústica	≤ 75 dB (A)

Tabla 62 - Características del compresor de pistón

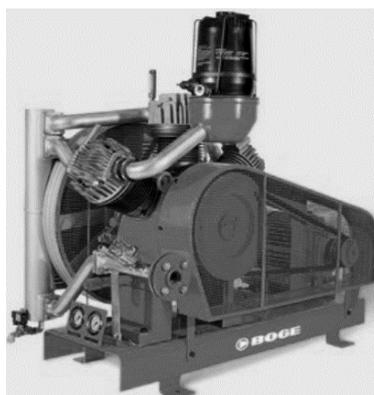


Ilustración 60 - Compresor de pistón modelo

5.8 GASÓMETRO CERRADO DE MEDIA PRESIÓN

El gasómetro estará homologado de acuerdo con la Directiva Europea de Equipos a Presión 97/23/CE (marcado CE) y las normas armonizadas para dicha Directiva. El depósito estará fabricado en acero inoxidable austenítico, con una superficie exterior decapada por granallado y protegida con dos manos de pintura: imprimación de alto poder anticorrosivo y exterior en poliuretano color blanco reflectante. Tendrá una capacidad de 200m^3 , con una presión de diseño superior a 8 bares.

5.9 INTERCAMBIADOR DE CALOR

El diseño del intercambiador de calor se hará bajo encargo según lo explicado en el apartado 9 de la memoria del presente proyecto. El intercambiador a instalar será de doble tubo tipo horquilla con disposición de flujos en contracorriente, con una potencia térmica de intercambio igual o superior a 100 kW.

El tubo interior del intercambiador contará con un aleteado longitudinal en su periferia, con interrupciones que mejoren el coeficiente de convección. Por el conducto interior circularán los gases de combustión, mientras que por el conducto exterior, y en sentido contrario a los gases de combustión, circulará el sustrato resultante de la mezcla lodos-ROB.

5.10 MOTORREDUCTOR

Los datos técnicos del motorreductor a instalar atenderán a las características mostradas en la siguiente tabla:

Características técnicas	
Potencia del motor	≤ 10 kW
Factor de potencia	$\geq 0,9$
Par	≥ 1500 Nm
Velocidad de salida	Ajustable por variador de frecuencia entre 30 y 60 rpm

Tabla 63 - Características del motorreductor

MEDICIONES Y PRESUPUESTO

ÍNDICE DE MEDICIONES Y PRESUPUESTO

1. CUADRO DE PRECIOS N° 1.....	179
2. CUADRO DE PRECIOS N° 2.....	183
3. MEDICIONES.....	189
4. PRESUPUESTO	195
4.1 PRESUPUESTOS PARCIALES.....	195
4.2 RESUMEN DEL PRESUPUESTO	199

1. CUADRO DE PRECIOS Nº 1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra	En letra
Digestor anaerobio			
1	m ³ Demolición de obra de fábrica de hormigón en masa, con retirada del material resultante a vertedero.	9,07	NUEVE EUROS CON SIETE CÉNTIMOS
2	m ³ Excavación en tierra para cimentación de obras de fábrica, sin agotamientos	4,55	CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y CINCO CÉNTIMOS
3	m ³ Relleno y compactación de trasdós de obras de fábrica con materiales procedentes de la excavación	2,84	DOS EUROS CON OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
4	m ³ Carga y transporte de los productos procedentes de la excavación a vertedero o lugar de empleo	2,58	DOS EUROS CON CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS
5	m ³ Muro de hormigón armado, 2C, 3<H<6 m, espesor 44 cm, realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, 50 kg/m ³ ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado metálico, con acabado tipo industrial para revestir.	304,58	TRESCIENTOS CUATRO EUROS CON CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS
6	m ² Aislamiento por el exterior en fachada ventilada formado por panel rígido de lana de vidrio, según UNE-EN 13162, no revestido, de 60 mm de espesor, fijado mecánicamente.	12,96	DOCE EUROS CON NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS
7	m ² Losa maciza inclinada, canto 65 cm, de hormigón armado realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 22 kg/m ² ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera; altura libre de planta de entre 4 y 5 m; placa de EPS, dimensiones 80x80 cm. Sin incluir repercusión de pilares.	154,98	CIENTO CINCUENTA Y CUATRO CON NOVENTA Y OCHO CÉNTIMOS
8	m ² Solera de hormigón en masa de 10 cm de espesor, realizada con hormigón HM-30/B/20/I+Qb fabricado en central y vertido con cubilote, extendido y vibrado manual, para base de un solado.	13,94	TRECE EUROS CON NOVENTA Y CUATRO CÉNTIMOS
9	m ² Cubierta inclinada de panel sándwich lacado+aislante+galvanizado, de 60 mm de espesor, con una pendiente mayor del 10%.	50,72	CINCUENTA EUROS CON SETENTA Y DOS CÉNTIMOS

10	ud Agitadora horizontal de montaje lateral	5.980,00	CINCO MIL NOVECIENTOS OCHENTA EUROS
11	ud Analizador de biogás	3.500,00	TRES MIL QUINIENTOS EUROS
12	ud pH-metro	300,00	TRESCIENTOS EUROS
13	ud Caudalímetro	750,00	SETECIENTOS CINCUENTA EUROS
14	ud Sonda de temperatura	175,00	CIENTO SETENTA Y CINCO EUROS
15	ud Medidor de presión	214,00	DOSCIENTOS CATORCE EUROS
Aprovechamiento del biogás			
16	m Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 20 mm de diámetro.	17,03	DIECISIETE EUROS CON TRES CÉNTIMOS
17	m Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 25 mm de diámetro.	19,07	DIECINUEVE EUROS CON SIETE CÉNTIMOS
18	ud Gasómetro cerrado de media presión	20.000,00	VENTEMIL EUROS
19	ud Compresor de pistón	3.500,00	TRES MIL QUINIENTOS EUROS
20	ud Microturbina CAPSTONE C65 ICHP	140.000,00	CIENTO CUARENTA MIL EUROS
21	PA Partida alzada para el diseño y construcción del intercambiador de calor de doble tubo tipo horquilla	5.000,00	CINCO MIL EUROS
22	PA Partida alzada para posibles equipos auxiliares	1.500,00	MIL QUINIENTOS EUROS
Colector por gravedad			
23	m ² Demolición y levantado de pavimento de hormigón en masa de 15/25 cm de espesor, carga y transporte del material resultante a vertedero.	3,81	TRES EUROS CON OCHENTA Y UN CÉNTIMOS
24	m ³ Excavación en zanja en terreno de tránsito, carga y transporte de los productos de la excavación al vertedero o lugar de empleo.	3,47	TRES EUROS CON CUARENTA Y SIETE CÉNTIMOS
25	m ³ Relleno de zanjas con suelo seleccionado, puesta en obra, extendida y compactada, con preparación de la superficie de asiento, en capas de 15/25 cm de espesor y con índice de plasticidad <6, medido sobre perfil terminado.	9,08	NUEVE EUROS CON OCHO CÉNTIMOS

26	m Colector enterrado de PVC-U de pared compacta de sección circular DN 400 y rigidez anular nominal SN 8 kN/m ² . Colocado en zanja sobre una cama de arena de río de 20cm, debidamente compactada y nivelada, relleno lateralmente y superiormente hasta 30cm por encima de la generatriz con la misma arena; compactando ésta hasta los riñones. Sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas	27,58	VENTISIETE EUROS CON CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS
27	m Estructura de soporte y anclaje de tubería de PVC-U de DN400. incluye anclajes a la estructura del tablero del puente y la vaina de acero DN500 de protección, incluso las obras de entronque laterales necesarias, transporte de sobrantes a vertedero, reposición de la parte de estructura afectada por las obras, los materiales necesarios para su reparación y medios auxiliares y andamios para trabajos en el interior del río. Totalmente terminada y comprobada.	309,28	TRESCIENTOS NUEVE EUROS CON VENTIOCHO CÉNTIMOS
28	PA Partida alzada para la realización de ensayos durante la ejecución de las obras y la reposición de la capa de rodadura.,	5.000,00	CINCO MIL EUROS
29	PA Partida alzada para entronque con servicios existentes	1.200,00	MIL DOSCIENTOS EUROS
Instalación eléctrica			
30	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x50 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	5,43	CINCO EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS
31	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x16 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	2,22	DOS EUROS CON VENTYDOS CÉNTIMOS

32	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x10 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	1,67	UN EURO CON SESENTA Y SIETE CÉNTIMOS
33	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x2,5 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	0,81	OCHENTA Y UN CÉNTIMOS
34	PA Partida alzada para los equipos de protección (interruptores diferenciales e interruptores magnetotérmicos).	600	SEISCIENTOS EUROS
Otros conceptos			
35	PA Partida alzada para el sistema de recepción y dosaje del residuo orgánico bruto.	50.000,00	CINCUENTA MIL EUROS
36	PA Partida alzada para la elaboración e implementación del Estudio de Seguridad y Salud (ESS).	10.000,00	DIEZ MIL EUROS

2. CUADRO DE PRECIOS Nº 2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial	Total
Digestor anaerobio			
1	m ³ Demolición de obra de fábrica de hormigón en masa, con retirada del material resultante a vertedero. Mano de obra Maquinaria 3% Costes Indirectos	2,72 6,08 0,27	9,07
2	m ³ Excavación en tierra para cimentación de obras de fábrica, sin agotamientos Mano de obra Maquinaria 3% Costes Indirectos	2,15 2,27 0,13	4,55
3	m ³ Relleno y compactación de trasdós de obras de fábrica con materiales procedentes de la excavación Mano de obra Maquinaria 3% Costes Indirectos	1,32 1,44 0,08	2,84
4	m ³ Carga y transporte de los productos procedentes de la excavación a vertedero o lugar de empleo Mano de obra Maquinaria 3% Costes Indirectos	0,63 1,87 0,08	2,58
5	m ³ Muro de hormigón armado, 2C, 3<H<6 m, espesor 44 cm, realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, 50 kg/m ³ ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado metálico, con acabado tipo industrial para revestir. Mano de obra Materiales Medios auxiliares 3% Costes Indirectos	20,65 269,26 5,90 8,87	304,58
6	m ² Aislamiento por el exterior en fachada ventilada formado por panel rígido de lana de vidrio, según UNE-EN 13162, no revestido, de 60 mm de espesor, fijado mecánicamente. Mano de obra Materiales Medios auxiliares 3% Costes Indirectos	3,63 8,70 0,25 0,38	

			12,96
7	m ² Losa maciza inclinada, canto 65 cm, de hormigón armado realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 22 kg/m ² ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera; altura libre de planta de entre 4 y 5 m; placa de EPS, dimensiones 80x80 cm. Sin incluir repercusión de pilares. Mano de obra Materiales Medios auxiliares 3% Costes Indirectos	19,43 128,09 2,95 4,51	154,98
8	m ² Solera de hormigón en masa de 10 cm de espesor, realizada con hormigón HM-30/B/20/I+Qb fabricado en central y vertido con cubilote, extendido y vibrado manual, para base de un solado. Mano de obra Maquinaria Materiales Medios auxiliares 3% Costes Indirectos	2,48 0,57 10,21 0,27 0,41	13,94
9	m ² Cubierta inclinada de panel sándwich lacado+aislante+galvanizado, de 60 mm de espesor, con una pendiente mayor del 10%. Mano de obra Materiales Medios auxiliares 3% Costes Indirectos	6,05 42,22 0,97 1,48	50,72
10	ud Agitadora horizontal de montaje lateral Sin descomposición Por redondeo 3% Costes Indirectos	5.805,83 -0,01 174,18	5.980,00
11	ud Analizador de biogás Sin descomposición 3% Costes Indirectos	3.398,06 101,94	3.500,00
12	ud pH-metro Sin descomposición 3% Costes Indirectos	291,26 8,74	300,00
13	ud Caudalímetro Sin descomposición Por redondeo	728,16 -0,01	

	3% Costes Indirectos	21,85	750,00
14	ud Sonda de temperatura Sin descomposición 3% Costes Indirectos	169,90 6,10	175,00
15	ud Medidor de presión Sin descomposición 3% Costes Indirectos	207,77 6,23	214,00
Aprovechamiento del biogás			
16	m Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 20 mm de diámetro. Mano de obra Materiales Medios auxiliares 3% Costes Indirectos	7,20 7,52 1,79 0,52	17,03
17	m Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 25 mm de diámetro. Mano de obra Materiales Medios auxiliares 3% Costes Indirectos	7,20 9,51 1,79 0,57	19,07
18	ud Gasómetro cerrado de media presión Sin descomposición 3% Costes Indirectos	19.400,0 0 600,00	20.000,00
19	ud Compresor de pistón Sin descomposición 3% Costes Indirectos	3.395,00 105,00	3.500,00
20	ud Microturbina CAPSTONE C65 ICHP Sin descomposición 3% Costes Indirectos	135.800, 00 4.200,00	140.000,00
21	PA Partida alzada para el diseño y construcción del intercambiador de calor de doble tubo tipo horquilla Sin descomposición	5.000,00	5.000,00
22	PA Partida alzada para posibles equipos auxiliares Sin descomposición	1.500,00	

			1.500,00
Colector por gravedad			
23	m ² Demolición y levantado de pavimento de hormigón en masa de 15/25 cm de espesor, carga y transporte del material resultante a vertedero. Mano de obra Maquinaria 3% Costes Indirectos	1,03 2,67 0,11	3,81
24	m ³ Excavación en zanja en terreno de tránsito, carga y transporte de los productos de la excavación al vertedero o lugar de empleo. Mano de obra Maquinaria 3% Costes Indirectos	1,08 2,29 0,10	3,47
25	m ³ Relleno de zanjas con suelo seleccionado, puesta en obra, extendida y compactada, con preparación de la superficie de asiento, en capas de 15/25 cm de espesor y con índice de plasticidad <6, medido sobre perfil terminado. Mano de obra Materiales Maquinaria 3% Costes Indirectos	2,98 3,47 2,36 0,27	9,08
26	m Colector enterrado de PVC-U de pared compacta de sección circular DN 400 y rigidez anular nominal SN 8 kN/m ² . Colocado en zanja sobre una cama de arena de río de 20cm, debidamente compactada y nivelada, relleno lateralmente y superiormente hasta 30cm por encima de la generatriz con la misma arena; compactando ésta hasta los riñones. Sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas Mano de obra Resto de obra y materiales Maquinaria 6% Costes Indirectos	4,20 19,57 2,25 1,56	27,58
27	m Estructura de soporte y anclaje de tubería de PVC-U de DN400. incluye anclajes a la estructura del tablero del puente y la vaina de acero DN500 de protección, incluso las obras de entronque laterales necesarias, transporte de sobrantes a vertedero, reposición de la parte de estructura afectada por las obras, los materiales necesarios para su reparación y medios auxiliares y andamios para trabajos en el interior del río. Totalmente terminada y comprobada. Mano de obra Resto de obra y materiales	28,88 236,69	

	Maquinaria 6% Costes Indirectos	26,2 17,51	309,28
28	PA Partida alzada para la realización de ensayos durante la ejecución de las obras y la reposición de la capa de rodadura. Sin descomposición	5.000,00	3.000,00
29	PA Partida alzada para entronque con servicios existentes Sin descomposición	1.200,00	1.200,00
Instalación eléctrica			
30	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x50 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1. Mano de obra Materiales 3% Costes Indirectos	0,71 4,56 0,16	5,43
31	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x16 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1. Mano de obra Materiales 3% Costes Indirectos	0,71 1,44 0,07	2,22
32	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x10 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1. Mano de obra Materiales 3% Costes Indirectos	0,71 0,91 0,05	1,67
33	m Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x2,5 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.		

	Mano de obra Materiales 3% Costes Indirectos	0,71 0,08 0,02	0,81
34	PA Partida alzada para los equipos de protección (interruptores diferenciales e interruptores magnetotérmicos). Sin descomposición	600	600
Otros conceptos			
35	PA Partida alzada para el sistema de recepción y dosaje del residuo orgánico bruto. Sin descomposición	50.000,0 0	50.000,00
36	PA Partida alzada para la elaboración e implementación del Estudio de Seguridad y Salud (ESS). Sin descomposición	10.000,0 0	10.000,00

3. MEDICIONES

Nº	Ud						Medición	
Digestor anaerobio								
1	m ³	Demolición de obra de fábrica de hormigón en masa, con retirada del material resultante a vertedero.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Exterior	1	-	-	-	4990	
		Interior	-1	-	-	-	4375	
								515,00
2	m ³	Excavación en tierra para cimentación de obras de fábrica, sin agotamientos	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Excavación	1	14,6	14,6	1,74	370,9	
								370,90
3	m ³	Relleno y compactación de trasdós de obras de fábrica con materiales procedentes de la excavación	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Hueco solera	1	14,6	14,6	1,24	264	
		Volumen solera	-1	-	-	-	69	
								195,00
4	m ³	Carga y transporte de los productos procedentes de la excavación a vertedero o lugar de empleo	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Excavación	1	-	-	-	515	
		Relleno	-1	-	-	-	195	
								320,00
5	m ²	Muro de hormigón armado, 2C, 3<H<6 m, espesor 44 cm, realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, 50 kg/m ³ ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado metálico, con acabado tipo industrial para revestir.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Muro vertical	1	45,9	-	7,3	335,1	
								335,07
6	m ²	Aislamiento por el exterior en fachada ventilada formado por panel rígido de lana de vidrio, según UNE-EN 13162, no revestido, de 60 mm de espesor, fijado mecánicamente.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Muro vertical	1	45,9	-	7,3	335,1	
								335,07
7	m ²	Losa maciza inclinada, canto 65 cm, de hormigón armado realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 22 kg/m ² ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera; altura libre de planta de entre 4 y 5 m; placa de EPS, dimensiones 80x80 cm. Sin incluir repercusión de pilares.	Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal

		Solera	1	-	-	-	170,33	
								170,33
8	m ²	Solera de hormigón en masa de 10 cm de espesor, realizada con hormigón HM-30/B/20/I+Qb fabricado en central y vertido con cubilote, extendido y vibrado manual, para base de un solado.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Solera	1	-	-	-	170,33	
								170,33
9	m ²	Cubierta inclinada de panel sándwich lacado + aislante + galvanizado, de 60 mm de espesor, con una pendiente mayor del 10%.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
		Cúpula	1	-	-	-	170,56	
								170,56
10	ud	Agitadora horizontal de montaje lateral						
								Subtotal
								2,00
11	ud	Analizador de biogás						
								Subtotal
								1,00
12	ud	pH-metro						
								Subtotal
								3,00
13	ud	Caudalímetro						
								Subtotal
								3,00
14	ud	Sonda de temperatura						
								Subtotal
								2,00
15	ud	Medidor de presión						
								Subtotal
								1,00
Aprovechamiento del biogás								
16	m	Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 20 mm de diámetro.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			1	10	-	-	10	
								10,00
17	m	Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 25 mm de diámetro.						
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal
			1	40	-	-	40	
								40,00
18	ud	Gasómetro cerrado de media presión						
								Subtotal
								1,00
19	ud	Compresor de pistón						

							Subtotal
							1,00
20	ud	Microturbina CAPSTONE C65 ICHP					Subtotal
							3,00
21	PA	Partida alzada para el diseño y construcción del intercambiador de calor de doble tubo tipo horquilla					Subtotal
							1,00
22	PA	Partida alzada para posibles equipos auxiliares					Subtotal
							1,00
Colector por gravedad							
23	m ²	Demolición y levantado de pavimento de hormigón en masa de 15/25 cm de espesor, carga y transporte del material resultante a vertedero.					
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial
			1	970	0,8	-	776
							776,00
24	m ³	Excavación en zanja en terreno de tránsito, carga y transporte de los productos de la excavación al vertedero o lugar de empleo.					
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial
			1	970	0,8	1	776
							776,00
25	m ²	Relleno de zanjas con suelo seleccionado, puesta en obra, extendida y compactada, con preparación de la superficie de asiento, en capas de 15/25 cm de espesor y con índice de plasticidad <6, medido sobre perfil terminado.					
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial
			1	970	0,8	0,1	776
							776,00
26	m	Colector enterrado de PVC-U de pared compacta de sección circular DN 400 y rigidez anular nominal SN 8 kN/m ² . Colocado en zanja sobre una cama de arena de río de 20cm, debidamente compactada y nivelada, relleno lateralmente y superiormente hasta 30cm por encima de la generatriz con la misma arena; compactando ésta hasta los riñones. Sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas					
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial
			1	1300	-	-	1300
							1300,00
27	m	Estructura de soporte y anclaje de tubería de PVC-U de DN400. incluye anclajes a la estructura del tablero del puente y la vaina de acero DN500 de protección, incluso las obras de entronque laterales necesarias, transporte de sobrantes a vertedero, reposición de la parte de estructura afectada por las obras, los materiales necesarios para su reparación y medios auxiliares y andamios para trabajos en el interior del río. Totalmente terminada y comprobada.					
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial
							Subtotal

			1	180	-	-	180			
									180,00	
28	PA	Partida alzada para la realización de ensayos durante la ejecución de las obras y la reposición de la capa de rodadura.							Subtotal	1,00
29	PA	Partida alzada para entronque con servicios existentes							Subtotal	1,00
Instalación eléctrica										
30	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x50 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.							Subtotal	
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal		
			4	80	-	-	320		320,00	
31	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x16 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.							Subtotal	
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal		
			5	60	-	-	300		300,00	
32	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x10 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.							Subtotal	
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal		
			10	80	-	-	800		800,00	
33	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x2,5 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.							Subtotal	
			Uds.	Largo	Ancho	Alto	Parcial	Subtotal		
			5	8	-	-			40,00	
34	PA	Partida alzada para los equipos de protección (interruptores diferenciales e interruptores magnetotérmicos).							Subtotal	1,00

Otros conceptos		
35	PA	Partida alzada para el sistema de recepción y dosaje del residuo orgánico bruto.
		Subtotal
		1,00
36	PA	Partida alzada para la elaboración e implementación del Estudio de Seguridad y Salud (ESS).
		Subtotal
		1,00

4. PRESUPUESTO

4.1 PRESUPUESTOS PARCIALES

Nº	Ud	Descripción	Medición	Precio(€)	Importe(€)
Digestor anaerobio					
1	m ³	Demolición de obra de fábrica de hormigón en masa, con retirada del material resultante a vertedero.	515,00	9,07	4.671,05
2	m ³	Excavación en tierra para cimentación de obras de fábrica, sin agotamientos	370,90	4,55	1.687,60
3	m ³	Relleno y compactación de trasdós de obras de fábrica con materiales procedentes de la excavación	195,00	2,84	553,80
4	m ³	Carga y transporte de los productos procedentes de la excavación a vertedero o lugar de empleo	320,00	2,58	825,60
5	m ²	Muro de hormigón armado, 2C, 3<H<6 m, espesor 44 cm, realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, 50 kg/m ³ ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado metálico, con acabado tipo industrial para revestir.	335,07	304,58	102.055,62
6	m ²	Aislamiento por el exterior en fachada ventilada formado por panel rígido de lana de vidrio, según UNE-EN 13162, no revestido, de 60 mm de espesor, fijado mecánicamente.	335,07	12,96	4.342,51
7	m ²	Losa maciza inclinada, canto 65 cm, de hormigón armado realizado con hormigón HA-30/B/20/IIb+Qb fabricado en central con cemento SR, y vertido con cubilote, y acero UNE-EN 10080 B 500 S, cuantía 22 kg/m ² ; montaje y desmontaje del sistema de encofrado de madera; altura libre de planta de entre 4 y 5 m; placa de EPS, dimensiones 80x80 cm. Sin incluir repercusión de pilares.	170,33	154,98	26.397,74
8	m ²	Solera de hormigón en masa de 10 cm de espesor, realizada con hormigón HM-30/B/20/I+Qb fabricado en central y vertido con cubilote, extendido y vibrado manual, para base de un solado.	170,33	13,94	2.374,40
9	m ²	Cubierta inclinada de panel sándwich lacado + aislante + galvanizado, de 60 mm de espesor, con una pendiente mayor del 10%.	170,56	50,72	8.650,80

10	ud	Agitadora horizontal de montaje lateral	2,00	5.980,00	11.960,00
11	ud	Analizador de biogás	1,00	3.500,00	3.500,00
12	ud	pH-metro	3,00	300,00	900,00
13	ud	Caudalímetro	3,00	750,00	2.250,00
14	ud	Sonda de temperatura	2,00	175,00	350,00
15	ud	Medidor de presión	1,00	214,00	214,00
Total presupuesto parcial nº 1 - Digestor anaerobio: 170.733,12					
Aprovechamiento del biogás					
16	m	Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 20 mm de diámetro.	10,00	17,03	170,30
17	m	Tubería para montante individual de gas, colocada superficialmente, formada por tubo de acero inoxidable con soldadura, de 25 mm de diámetro.	40,00	19,07	762,80
18	ud	Gasómetro cerrado de media presión	1,00	20.000,00	20.000,00
19	ud	Compresor de pistón	1,00	3.500,00	3.500,00
20	ud	Microturbina CAPSTONE C65 ICHP	3,00	140.000,00	420.000,00
21	PA	Partida alzada para el diseño y construcción del intercambiador de calor de doble tubo tipo horquilla	1,00	5.000,00	5.000,00
22	PA	Partida alzada para posibles equipos auxiliares	1,00	1.500,00	1.500,00
Total presupuesto parcial nº 2 – Aprovechamiento del biogás: 450.933,10					
Colector por gravedad					
23	m ²	Demolición y levantado de pavimento de hormigón en masa de 15/25 cm de espesor, carga y transporte del material resultante a vertedero.	776,00	3,81	2.956,56
24	m ³	Excavación en zanja en terreno de tránsito, carga y transporte de los productos de la excavación al vertedero o lugar de empleo.	776,00	3,47	2.692,72
25	m ²	Relleno de zanjas con suelo seleccionado, puesta en obra, extendida y compactada, con preparación de la superficie de asiento, en capas de 15/25 cm de espesor y con índice de plasticidad <6, medido sobre perfil terminado.	776,00	9,08	7.046,08

26	m	Colector enterrado de PVC-U de pared compacta de sección circular DN 400 y rigidez anular nominal SN 8 kN/m ² . Colocado en zanja sobre una cama de arena de río de 20cm, debidamente compactada y nivelada, relleno lateralmente y superiormente hasta 30cm por encima de la generatriz con la misma arena; compactando ésta hasta los riñones. Sin incluir la excavación ni el tapado posterior de las zanjas	1.300,00	27,58	35.854,00
27	m	Estructura de soporte y anclaje de tubería de PVC-U de DN400. incluye anclajes a la estructura del tablero del puente y la vaina de acero DN500 de protección, incluso las obras de entronque laterales necesarias, transporte de sobrantes a vertedero, reposición de la parte de estructura afectada por las obras, los materiales necesarios para su reparación y medios auxiliares y andamios para trabajos en el interior del río. Totalmente terminada y comprobada.	180,00	309,28	55.670,40
28	PA	Partida alzada para la realización de ensayos durante la ejecución de las obras y la reposición de la capa de rodadura.	1,00	5.000,00	5.000,00
29	PA	Partida alzada para entronque con servicios existentes	1,00	1.200,00	1.200,00
Total presupuesto parcial nº 3 – Colector por gravedad: 110.419,76					
Instalación eléctrica					
30	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x50 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	320,00	5,43	1.737,60
31	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x16 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	300,00	2,22	666,00

32	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x10 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	800,00	1,67	1.336,00
33	m	Cable eléctrico unipolar, Afumex Plus 750 V (AS) "PRYSMIAN", de alta deslizabilidad, tipo H07Z1-K (AS) TYPE 2, tensión nominal 450/750 V, de alta seguridad en caso de incendio (AS), con conductor de cobre recocido, flexible (clase 5), de 1x2,5 mm ² de sección, aislamiento de poliolefina termoplástica, de tipo Afumex TI Z1.	40,00	0,81	32,40
34	PA	Partida alzada para los equipos de protección (interruptores diferenciales e interruptores magnetotérmicos).	1,00	600,00	600,00
Total presupuesto parcial nº 4 – Instalación eléctrica: 4.372,00					
Otros conceptos					
35	PA	Partida alzada para el sistema de recepción y dosaje del residuo orgánico bruto.	1,00	50.000,00	50.000,00
36	PA	Partida alzada para la elaboración e implementación del Estudio de Seguridad y Salud (ESS).	1,00	10.000,00	10.000,00
Total presupuesto parcial nº 5 – Otros conceptos: 60.000,00					

4.2 RESUMEN DEL PRESUPUESTO

<i>Capítulo</i>	<i>Importe (€)</i>
Capítulo 1: Digestor anaerobio	170.733,12
Capítulo 2: Aprovechamiento de biogás	450.933,10
Capítulo 3: Colector por gravedad	110.419,76
Capítulo 4: Instalación eléctrica	4.372,00
Capítulo 5: Otros conceptos	60.000,00
Presupuesto de ejecución de materiales	796.457,98
13% gastos generales	103.539,54
6% de beneficio industrial	47.787,48
3% gastos de ingeniería	23.893,74
Subtotal	971.678,74
21% IVA (Impuesto al Valor Añadido)	204.052,53
Presupuesto de ejecución por contrata	1.175.731,27

PLANOS

LISTADO DE PLANOS

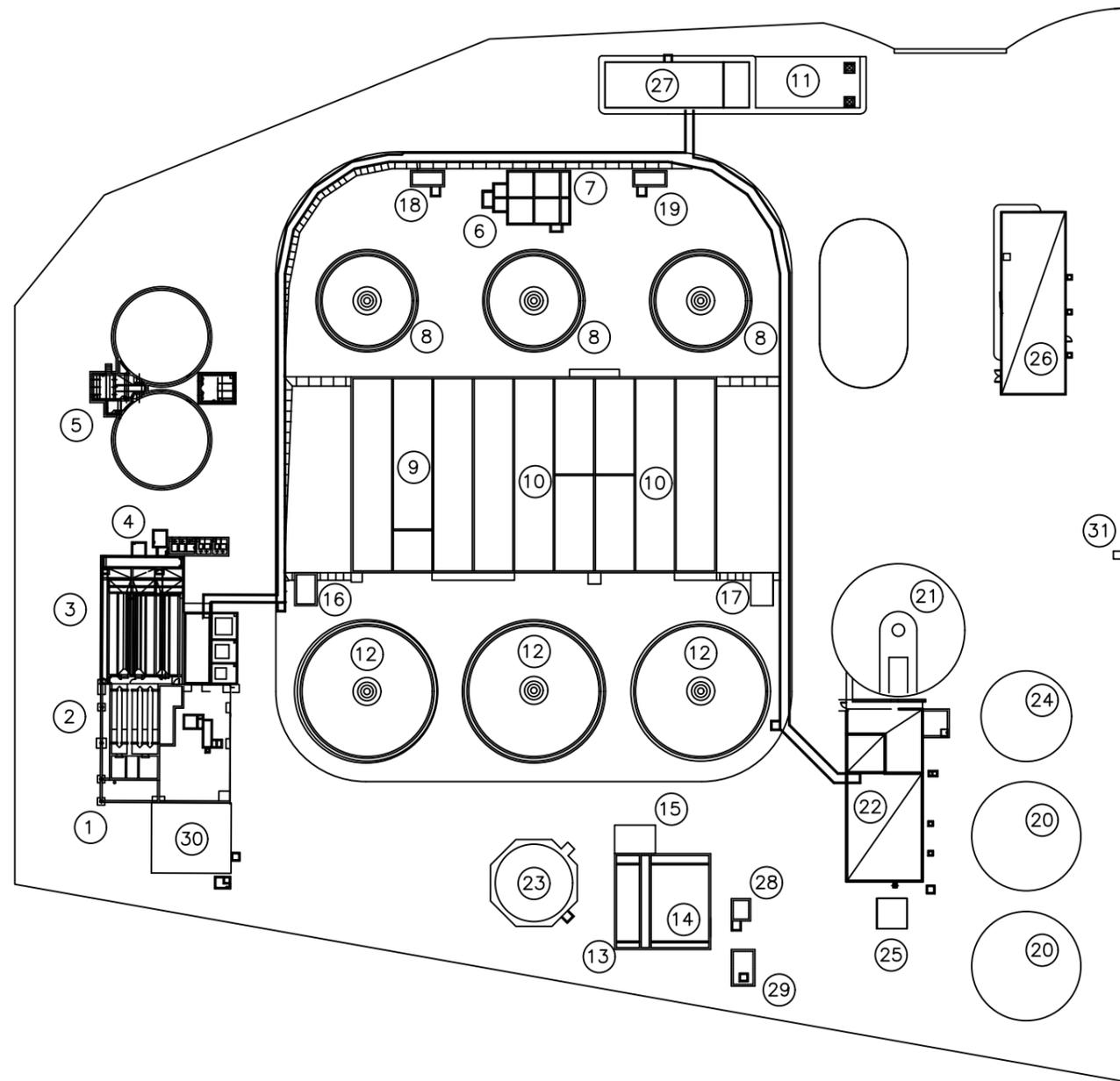
1. SITUACIÓN DE LA EDAR VILA-REAL
2. SITUACIÓN DE LA EDAR ALMASSORA
3. DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA EDAR ALMASSORA
4. TRAZADO DEL COLECTOR DE ENLACE POR GRAVEDAD
5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS
6. AMPLIACIÓN DE LA LÍNEA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS
7. DIGESTOR ANAEROBIO. CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y ROB
8. DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA PROYECTADA



FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  UNIVERSITAT JAUME I
ESCALA: -	TÍTULO: SITUACIÓN DE LA EDAR VILA-REAL	
PLANO 1 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	



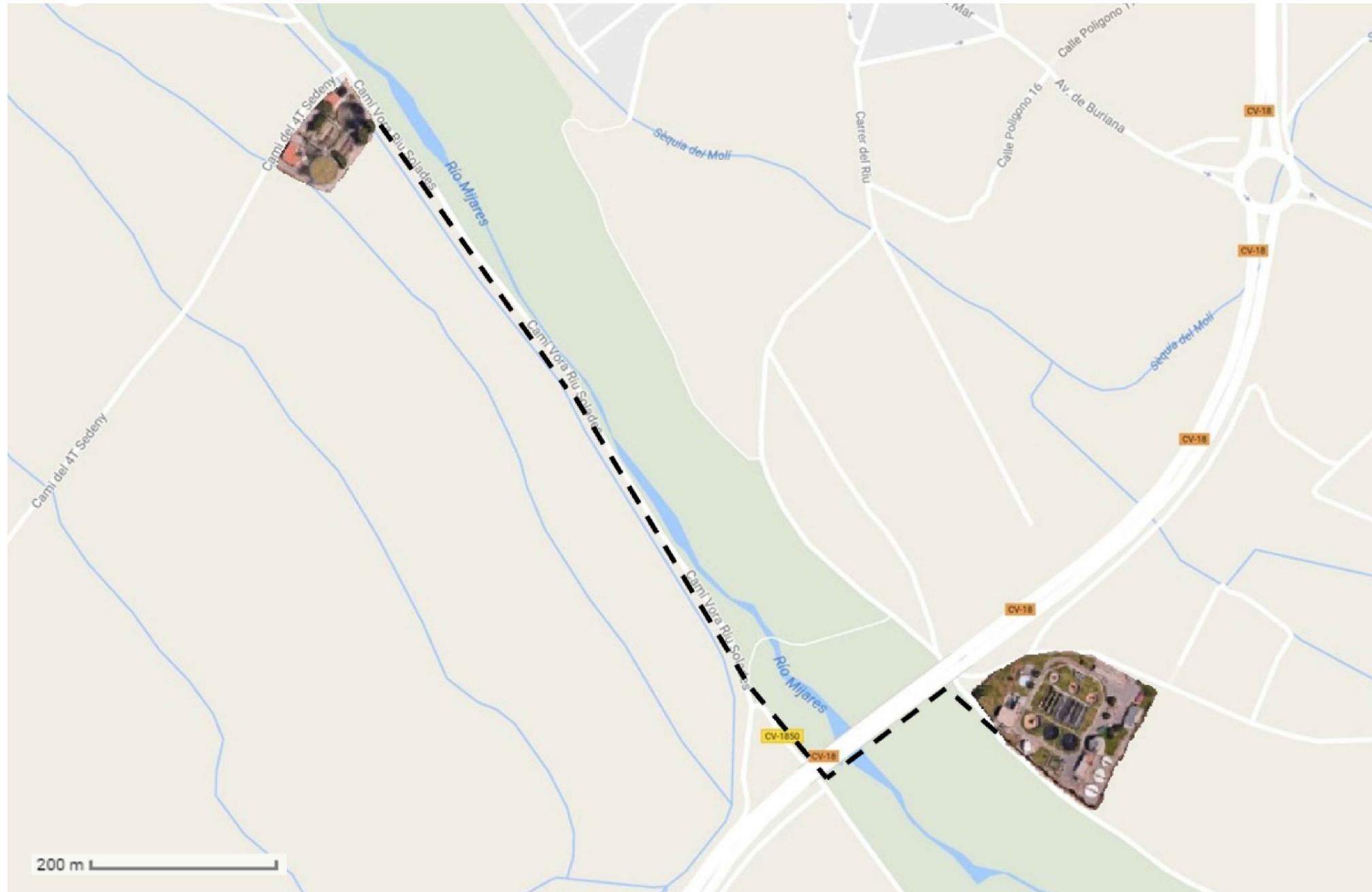
FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  UNIVERSITAT JAUME I
ESCALA: -	TÍTULO: SITUACIÓN DE LA EDAR ALMASSORA	
PLANO 2 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	



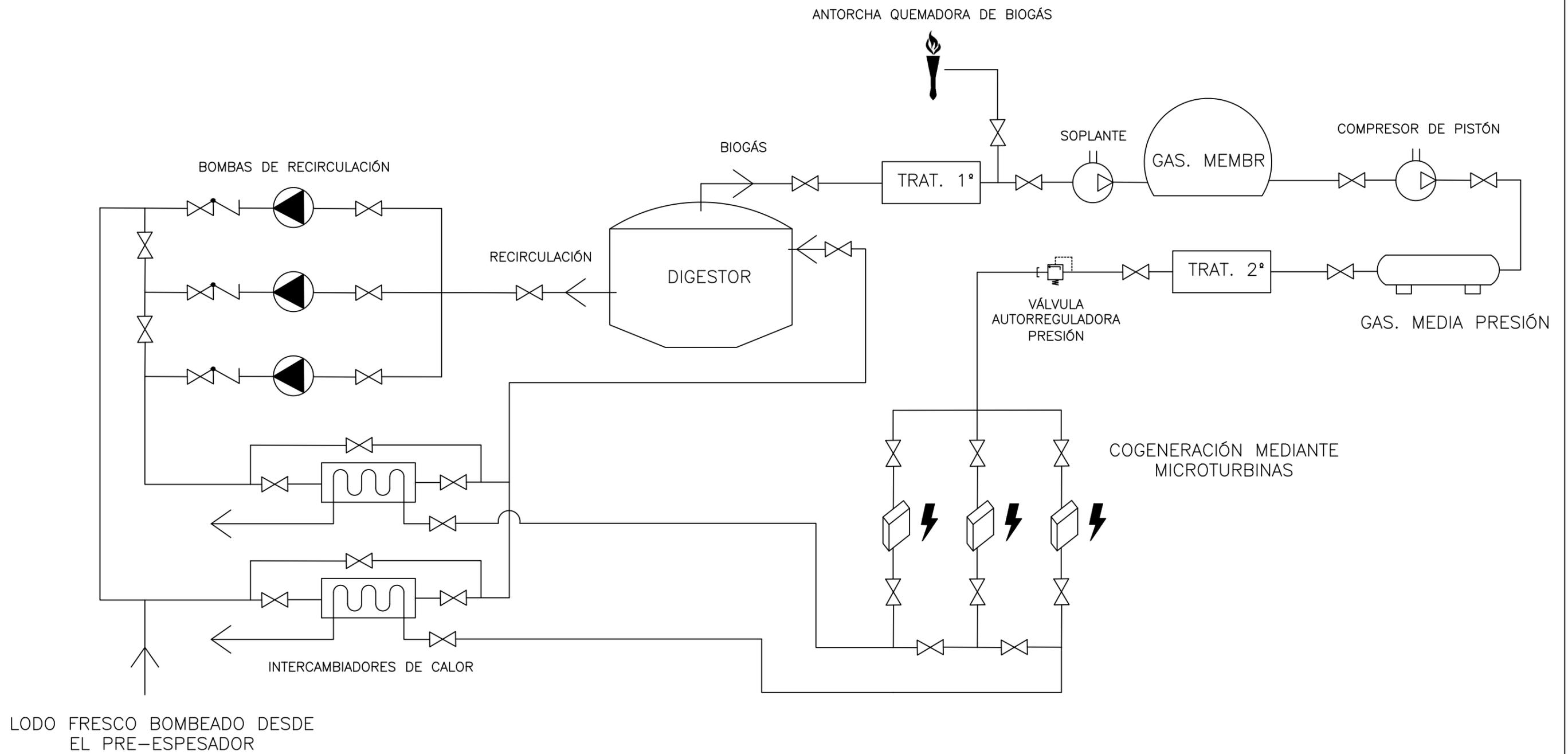
LEYENDA

- 01.- OBRA DE LLEGADA
- 02.- EDIFICIO DE PRETRATAMIENTO
- 03.- DESARENADO DESENGRASADO
- 04.- MEDICION DE CAUDAL Y BY-PASS GENERAL
- 05.- Balsa de HOMOGENEIZACION DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- 06.- CAMARA DE MEZCLA DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- 07.- CAMARA DE FLOCULACION DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- 08.- DECANTACION PRIMARIA
- 09.- TANQUE DE AIREACION BIOLOGICA AGUA RESIDUAL URBANA
- 10.- TANQUE AIREACION BIOLOGICA AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- 11.- EDIFICIO DE GENERACION DE AIRE
- 12.- DECANTACION SECUNDARIA
- 13.- CAMARA DE CLORACION DE AGUA RESIDUAL URBANA
- 14.- CAMARA DE CLORACION DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- 15.- EDIFICIO DE DESINFECCION
- 16.- BOMBEO FANGOS SECUNDARIOS AGUA RESIDUAL URBANA
- 17.- BOMBEO FANGOS SECUNDARIOS AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- 18.- BOMBEO FANGOS PRIMARIOS AGUA RESIDUAL URBANA
- 19.- BOMBEO FANGOS PRIMARIOS AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL
- 20.- ESPESADOR POR GRAVEDAD DE FANGOS TOTALES
- 21.- DIGESTOR ANAEROBIO DE FANGOS
- 22.- EDIFICIO MIXTO (CALEFACCION, SECADO Y REACTIVOS)
- 23.- ALMACENAMIENTO DE GAS EN BAJA PRESION
- 24.- ESPESADOR POR GRAVEDAD DE FANGOS DIGERIDOS
- 25.- TOLVA DE ALMACENAMIENTO DE FANGOS SECOS
- 26.- EDIFICIO DE CONTROL Y SERVICIOS
- 27.- EDIFICIO DE TRANSFORMACION
- 28.- BOMBEO DE VACIADOS
- 29.- DEPOSITO DE GAS-OIL
- 30.- DESODORIZACION
- 31.- ANTORCHA DE QUEMADO DE GAS

FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  UNIVERSITAT JAUME·I
ESCALA: 1:1000	TÍTULO: DISTRIBUCIÓN EN PLANTA DE LA EDAR ALMASSORA	
PLANO 3 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	

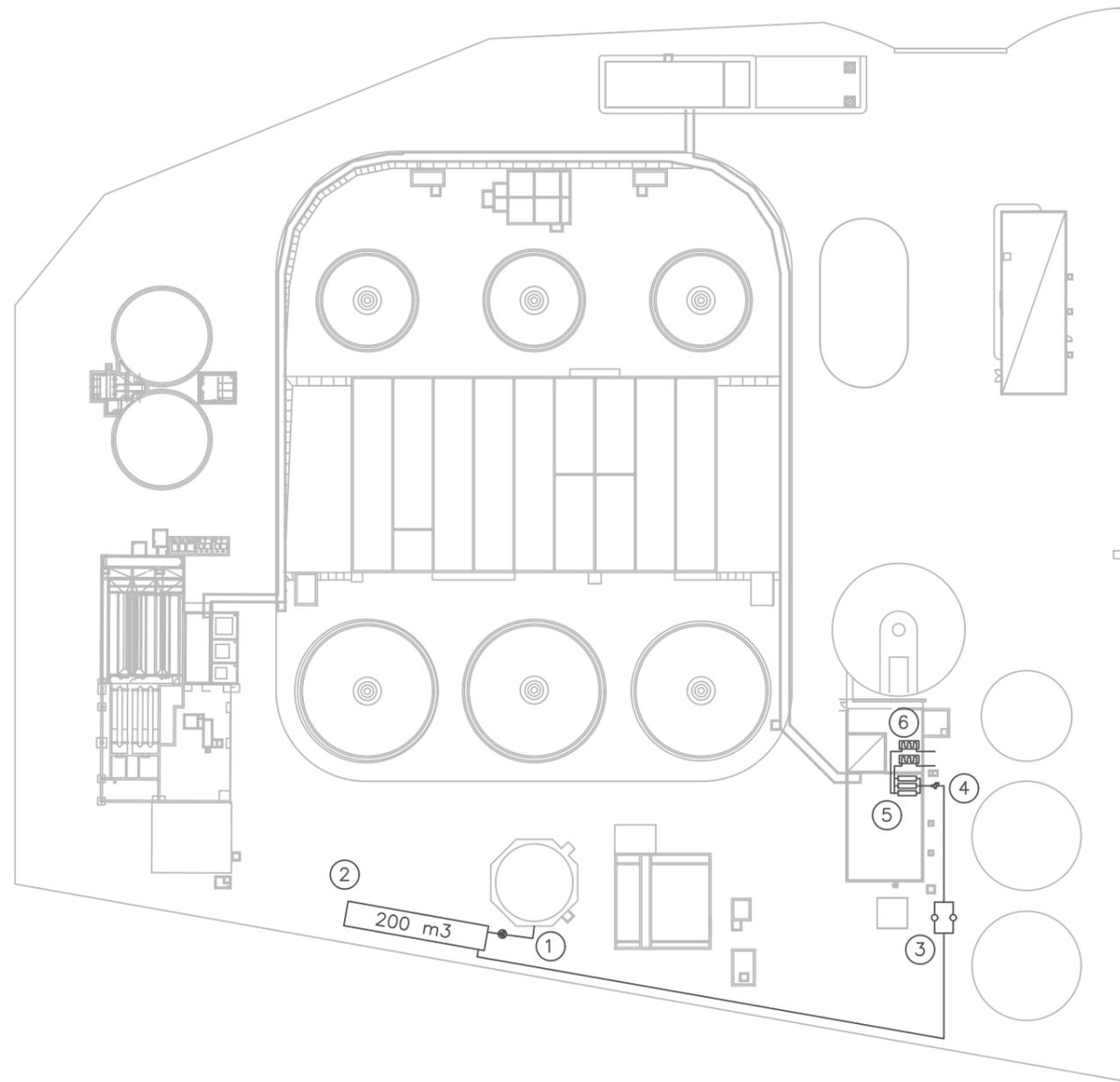


FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  UNIVERSITAT JAUME I
ESCALA: -	TÍTULO: TRAZADO DEL COLECTOR DE ENLACE POR GRAVEDAD	
PLANO 4 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	



LODO FRESCO BOMBEADO DESDE EL PRE-ESPESADOR

FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  UNIVERSITAT JAUME I
ESCALA: -	TÍTULO: DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS	
PLANO 5 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	



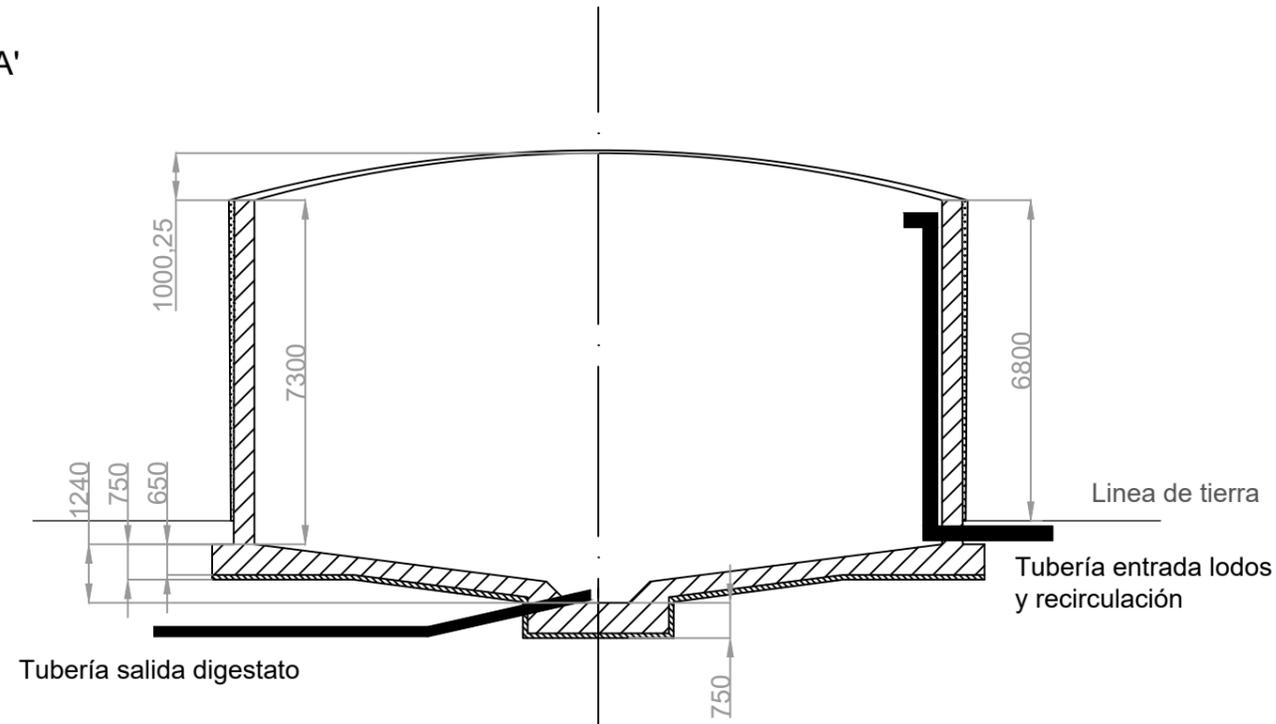
LEYENDA

- 01.- COMPRESOR DE PISTON
- 02.- DEPOSITO CERRADO DE MEDIA PRESION
- 03.- FILTROS DE CARBON ACTIVO
- 04.- VÁLVULA REGULADORA DE PRESIÓN
- 05.- MICROTURBINAS
- 06.- INTERCAMBIADORES DE CALOR

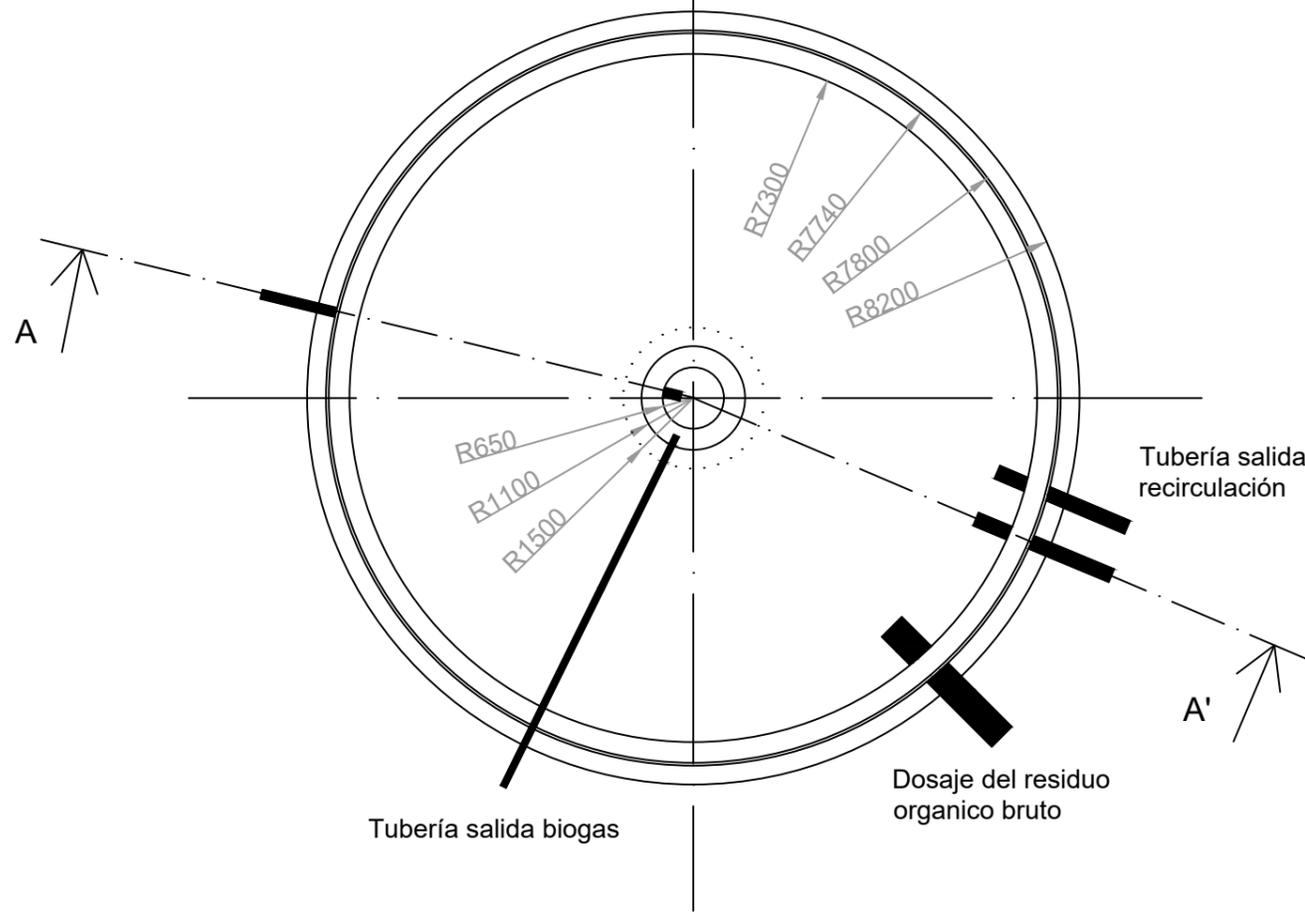
FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES
ESCALA: 1:1000	TÍTULO: AMPLIACIÓN DE LA LÍNEA DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS	
PLANO 6 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	



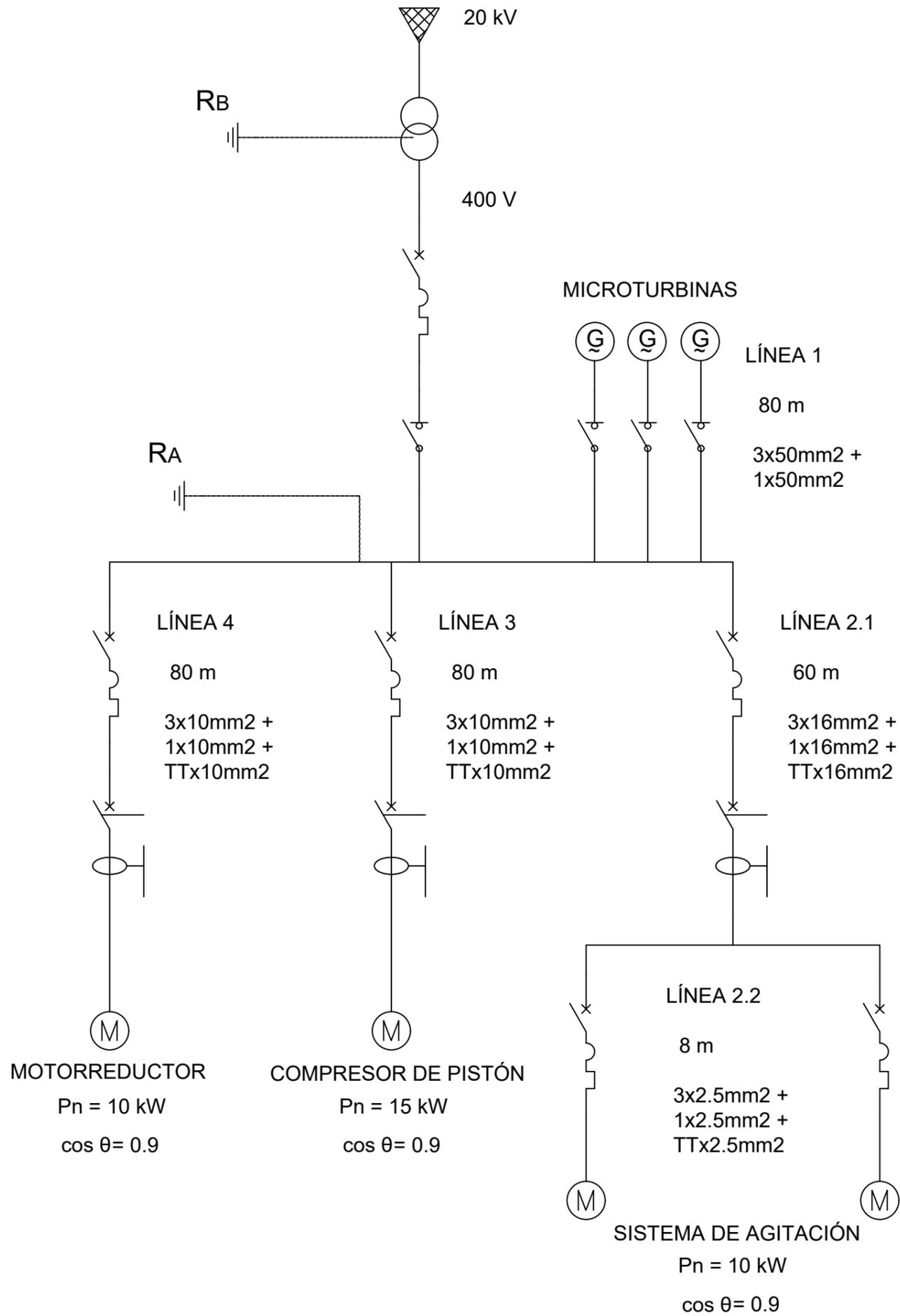
A-A'



-  Aislante de lana de vidrio
-  Hormigón armado
-  Hormigón de limpieza



FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  UNIVERSITAT JAUME·I
ESCALA: 1:150	TÍTULO: DIGESTOR ANAEROBIO. CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y ROB	
UNIDADES: mm		
PLANO 7 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	



FECHA: AGOSTO 2016	AUTOR: CARLOS RENAU MORALES	GRADO EN ING. EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES  UNIVERSITAT JAUME·I
ESCALA: -	TÍTULO: DIAGRAMA UNIFILAR DE LA INSTALACIÓN ELÉCTRICA PROYECTADA	
PLANO 8 DE 8	PROYECTO DE DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN PARA GENERACIÓN DE BIOGÁS A PARTIR DE LA CO-DIGESTIÓN DE LODOS Y OTROS BIORRESIDUOS EN LA EDAR DE ALMASSORA	