



Universidad
de La Laguna

Facultad de Química

Departamento de Ingeniería Química y Tecnología Farmacéutica

Trabajo Fin de Grado

Valorización energética de purines por digestión anaerobia en una explotación porcina

Autor: Álvaro Ruymán Cruz Gutiérrez

Septiembre 2015

Documentos que contiene

Memoria

Anexo I-Cálculos

Anexo II- Presupuesto y balance energético

Anexo III- Fichas técnicas

Pliego de Condiciones

Resumen

Los desechos generados en la industria porcina son altamente contaminantes, dentro de los distintos procesos a los que pueden ser sometidos, para eliminar parte de dicha carga, la digestión anaerobia puede ser una buena opción debido a la valorización económica de estos residuos. El proceso de digestión consiste en cuatro etapas fermentativas, diferenciadas por el tipo de bacterias que actúan en cada una de ellas, mediante el cual obtendremos biogás por degradación de la materia orgánica. Las bacterias involucradas presentan diferentes condiciones óptimas de operación, siendo uno de los parámetros más importantes el de la temperatura.

Este proceso se lleva a cabo en un biorreactor, extrayéndose por un lado el biogás que será almacenado y posteriormente quemado en un motor de cogeneración, el cual generará por un lado electricidad y por otro calor residual debido al circuito de refrigeración, y por otro lado los lodos que serán sometidos a un proceso de separación sólido-líquido en un equipo de rosca a presión.

Procederemos al diseño del biodigestor, el cual hará uso de un serpentín interior para mantener una temperatura de operación constante. La alimentación y la descarga del purín se harán mediante el uso de bombas peristálticas.

Dimensionaremos también las zonas de almacenaje del purín y una zona de almacenamiento del biogás (gasómetro) para que este pueda ser almacenado y utilizado cuando se crea conveniente.

Calcularemos además las características que deben cumplir el resto de los equipos principales que intervienen en el proceso (bombas y motor de cogeneración) para tratar el volumen de purín generado.

Abstract

The waste produced by the swine industry is highly polluting. Of all the different processes the waste can go through, anaerobic digestion could be a good option because of its economic value. The digestion process is consisted in four fermentative stages, which are different depending on the bacteria involved on them. At the end of this process, we will obtain biogas, due to the degradation of the organic waste. The involved bacteria present different ideal conditions in which they work better, being the temperature one of the most important parametres.

This process takes place in a bioreactor, that first takes away the biogas, which will be stored and finally burned in a cogeneration engine that will generate electricity and residual heat due to the refrigeration circuit. The bioreactor will also take away the sludge, which will go through a process that will separate solid and liquid in a pressure equipment.

We will proceed with the design of the biodigestor, which will use an inside colling to keep a constant operation temperature. The feed and download of the slurry will be done using peristaltic pumps.

We will also estimate the dimensions for the storage area of the slurry and to the storage area for the biogas (gasometre), so this could be properly stored and used when needed.

Finally, we will also calculate the characteristics of the rest of the principal components of the equipment involved in the process (pump and cogeneration engine), in order to treat the volume of slurry generated.

Memoria

Índice

	Página
1. Introducción	2
2. Legislación	3
3. Antecedentes	5
4. Justificación	6
5. Objetivo	7
6. Fundamento teórico	7
6.1. Caracterización del purín	7
6.2. Caracterización del biogás	9
6.3. Digestión anaerobia	9
6.4. Parámetros de control	12
6.5. Modelo cinético	15
7. Áreas y descripción del proceso	16
7.1. Recepción del purín	17
7.2. Digestión anaerobia y producción de biogás	18
7.3. Almacenamiento del biogás	19
7.4. Cogeneración	19
7.5. Separación sólido-líquido	19
7.6. Almacenamiento de la fracción sólida	20
8. Datos de partida	20
9. Resultados a obtener	21
10. Conclusiones	21
Bibliografía	22

1. Introducción

Actualmente nuestra sociedad genera una gran cantidad de residuos contaminantes que afectan al ambiente, incidiendo principalmente en la contaminación del aire, agua y suelo y, como consecuencia, en la salud de las personas.

La correcta gestión y tratamiento de estos residuos contribuye a mantener un medio ambiente saludable y a disminuir los riesgos de contraer enfermedades por parte de la población, con el beneficio adicional de la generación de recursos económicos y la contribución a los objetivos de desarrollo sostenible.

Uno de los elementos contaminantes son los residuos orgánicos generados como consecuencia de la actividad ganadera y especialmente, en España, la ganadería porcina, pues se trata del segundo país productor de la UE y el cuarto a nivel mundial según datos del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (Fuente: <http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/produccion-y-mercados-ganaderos/sectores-ganaderos/porcino/>). La actividad de la ganadería porcina ha ido en aumento en los últimos años debido al creciente consumo de este tipo de carnes, con lo cual ha aumentado, junto con ella, la generación de residuos. Estos residuos están formados por las heces y orines del cerdo así como por las aguas de lavado y son llamados purín.

Entre los diversos procesos de aprovechamiento y tratamiento de residuos orgánicos se encuentra la digestión anaerobia, la cual tiene una serie de ventajas frente a otros procesos, como puede ser el secado térmico o la digestión aerobia, ya que permite la estabilización de los residuos orgánicos y genera subproductos con valor económico.

El aprovechamiento por digestión anaerobia de biomasa es un sector en expansión en las últimas décadas en Europa debido, entre otros motivos, al Tratado de Ámsterdam (1999), el cual estableció la obligación de integrar la protección medioambiental en las políticas sectoriales de los países miembros de la Unión Europea con miras a promover el desarrollo sostenible. Debido a esto existe normativa tanto a nivel europeo como estatal e incluso autonómico que favorece el uso de sistemas de valorización.

2. Legislación

Marco legal estatal con referencia a este tipo de gestión es la siguiente:

- Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero.

- Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

- Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

- Ley 26/2007, de 23 de octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

- Real Decreto 987/2008, de 13 de junio, por el que se establecen bases reguladoras para la concesión de las subvenciones destinadas a determinados proyectos de mejora de la gestión medioambiental de las explotaciones porcinas.

- Resolución de 20 de enero de 2009, de la Secretaría de Estado de Cambio Climático, por la que se publica el Acuerdo del Consejo de Ministros por el que se aprueba el Plan Nacional Integrado de Residuos para el período 2008-2015.

- Real Decreto-ley 6/2009, de 30 de abril, por el que se adoptan determinadas medidas en el sector energético y se aprueba el bono social.

- Real Decreto 1255/2010, de 8 de octubre, por el que se modifica el Real Decreto 949/2009, de 5 de junio, por el que se establecen las bases reguladoras de las subvenciones estatales para fomentar la aplicación de los procesos técnicos del Plan de Biodigestión de Purines

Leyes de carácter autonómico:

- Ley 1/1999, de 29 de enero, de residuos de Canarias.

- Orden de 11 de febrero de 2000, por la que se aprueba el Código de Buenas Prácticas Agrícolas de la Comunidad Autónoma de Canarias.

- DECRETO 49/2000, de 10 de abril, por el que se determinan las masas de agua afectadas por la contaminación de nitratos de origen agrario y se designan las zonas vulnerables por dicha contaminación.

Legislación europea:

- DIRECTIVA 96/61/CE del consejo, de 24 de Septiembre de 1996, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). (DO L 257 de 10/10/1996)

- DIRECTIVA 96/62/CE del Consejo, de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente. (DO L 296 de 21/11/1996).

- Directiva 97/11/CE del Consejo, de 3 de marzo de 1997, por la que se modifica la Directiva 85/337/CEE relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente (DO L 073 de 14/03/1997).

- REGLAMENTO (CE) N° 1257/1999 del consejo, de 17 de mayo de 1999, sobre la ayuda al desarrollo rural a cargo del Fondo Europeo de Orientación y de Garantía Agrícola (FEOGA) y por el que se modifican y derogan determinados Reglamentos. (DO L 160/80 de 26/06/1999).

- DIRECTIVA 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad. (DO L 283 de 27/10/2001).

- DIRECTIVA 2001/81/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2001, sobre techos nacionales de emisión de determinados contaminantes atmosféricos. (DO L 309 de 27/11/2001)

- DIRECTIVA 2004/8/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de febrero de 2004, relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía y por la que se modifica la Directiva 92/42/CEE. (DO L 52/50 de 21/02/2004).

- DIRECTIVA 2004/35/CE del Parlamento y del Consejo, de 21 de abril de 2004, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medioambientales. (DO L 143 de 30/04/2004).

- REGLAMENTO (CE) N° 92/2005 DE LA COMISIÓN, de 19 de enero de 2005, por el que se aplica el Reglamento (CE) N° 1774/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo en que se refiere a los métodos de eliminación o a la utilización de subproductos animales y se

modifica su anexo VI en lo concerniente a la transformación en biogás y la transformación de las grasas extraídas. (DO L 19 de 21/01/2005).

- DIRECTIVA 2006/12/CE del Parlamento Europeo, de 5 de abril de 2006, relativa a los residuos. (DOUE L 114 de 27/04/2006).

- DIRECTIVA 2006/118/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de diciembre de 2006, relativa a la protección de aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro. (DO L 372 de 27/12/2006).

- DIRECTIVA 2008/1/CE del Parlamento Europeo, de 15 de enero de 2008, relativa a la prevención y al control integrados de la contaminación (IPPC). (DO L 24 de 29/01/2008).

- DIRECTIVA 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. (DOUE L 152 de 11/06/2008).

- DIRECTIVA 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas. DOUE L 312 de 22/11/2008).

3. Antecedentes

Los primeros experimentos sobre fermentación de residuos orgánicos datan de finales del siglo XIX (Fuente: Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaerobios rurales, 1996). Louis Pasteur concluyó en 1884, apoyado en los trabajos de su discípulo Gayón, que la fermentación de estiércoles era una fuente de energía utilizable para la calefacción e iluminación.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real, aunque no se pone en funcionamiento hasta el año 1900, en Bombay – La India, Charles James utiliza el gas generado para poner en funcionamiento un motor.

En Alemania el biogás empieza a ser utilizado como fuente de energía mediante una red pública a partir del año 1923 y es en 1927 cuando Inglaterra impulsa también el uso de biogás para suplir las necesidades energéticas de las ciudades más pobladas.

Durante la segunda guerra mundial comenzó una amplia difusión de biodigestores a nivel rural fundamentalmente en Europa, China e India que se convierten en líderes en la materia.

Los procesos de digestión anaerobia que inicialmente se usaron con fines energéticos han pasado durante estos últimos años a tener mayor importancia desde el punto de vista de la reducción de la contaminación ambiental que del aprovechamiento energético en sí.

4. Justificación

Según el Instituto Canario de Estadística (ISTAC) en la isla de Tenerife hay censadas un total de 364 explotaciones ganaderas de porcino en 1999 sumando un total de 22388 cabezas, aunque este número ha aumentado hasta las 29037 en 2012 según la misma fuente. La mayoría de las explotaciones, un total de 254, tienen menos de 5 cabezas, las grandes explotaciones son menos frecuentes en la isla encontrando solo una ganadería que supera las 2000 cabezas de ganado, 7 que están entre 1000 y 2000 y otras 6 que cuentan con un número situado entre los 500 y los 1000 ejemplares en sus establos.

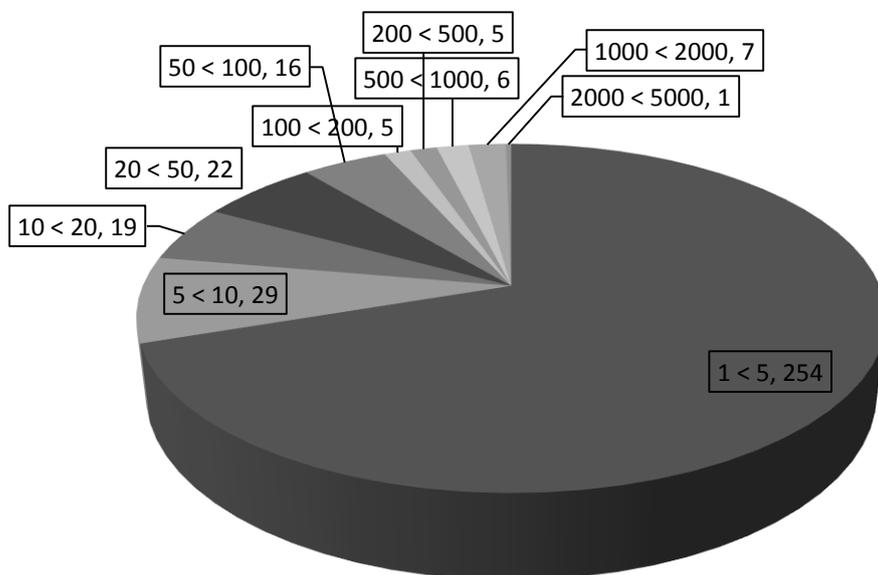


Grafico I. Número de explotaciones porcinas según intervalo de tamaño de la isla de Tenerife.

Fuente: ISTAC, 1999.

Entre las ganaderías porcinas con capacidades superiores a las 1000 cabezas cabría la posibilidad de implantar un sistema de aprovechamiento de los residuos ya que la generación de estos puede generar problemas medioambientales de consideración.

Los procesos de valorización de residuos ganaderos llevan consigo múltiples ventajas tanto desde el punto de vista medioambiental como económico. Algunas de estas ventajas son:

- Eliminación de los olores en la granja.
- Mejora las condiciones de higiene.
- Reduce la contaminación de suelos y agua.
- Obtención de energías limpias (eléctrica y térmica).

5. Objeto del proyecto

Este proyecto establecerá los aspectos básicos necesarios a tener en cuenta para el diseño e instalación de un biodigestor, así como, de las instalaciones auxiliares a este para el tratamiento de los purines generados en una explotación porcina con capacidad para unos 1200 cerdos y una generación media de purín de 2266,31 m³/año en la isla de Tenerife y el posterior aprovechamiento energético de los gases generados durante el proceso.

6. Fundamento teórico

6.1. Caracterización del purín

El purín es el resultado de la mezcla de heces, orina y aguas de lavado y lluvia que se generan en el establo. Esta mezcla presenta importantes diferencias en cuanto a su composición, dependiendo de múltiples factores, siendo los más importantes:

- La edad y el tipo de animal (lechón, engorde, verraco, etc)
- La alimentación y el agua: se considera que más del del 80% de los nutrientes ingeridos por los animales en su alimentación, son excretados por orina y heces (Hilliard et Pearce, 1978).

Es debido a estas fluctuaciones que hemos tomado datos de caracterización de las diferentes fuentes para su elaboración, los cálculos de este proyecto estarán basados en los valores medios de la última columna de la siguiente tabla:

Parámetro	Unidades	Navés, J. Y Torres, C. 1994	Rodríguez Membibre. M.L. Y Riopérez García del Rincón J., 2010	Costa Yagüe, Lorca 1987	Costa Yagüe, Región de Murcia 1987	Valores medios
Densidad	(kg/m ³)	-	-	1023,00	1015,00	1019,00
Sólidos totales	(g/kg)	-	62,16	-	-	62,16
Sólidos volátiles	(g/kg)	-	42,33	-	-	42,33
DQO	(g/kg)	65,60	73,02	52,14	39,95	57,68
Nitrógeno total	(g/kg)	5,62	5,95	3,70	2,45	4,43
Nitrógeno amoniacal	(g/kg)	3,18	4,54	2,16	1,56	2,86
Sodio	(g/l)	0,57	-	0,41	0,36	0,45
Magnesio	(g/l)	1,30	-	-	-	1,30
Calcio	(g/l)	3,96	-	-	-	3,96
Fosforo	(g/kg)	6,23	1,38	3,18	1,83	3,16
Potasio	(g/kg)	2,81	4,83	2,75	1,70	3,02

Tabla I. Caracterización purín de cerdo. Fuente: Planta de digestión anaerobia de residuos porcinos, 2003, Avances en tecnología porcina, 2010 y Reutilización agronómica de los purines de cerdo, 1998.

6.2. Caracterización del biogás

El biogás es un gas que se obtiene a partir de la degradación biológica de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y en ausencia de oxígeno.

Componente	Composición
Metano	55-65 %
Dióxido de carbono	35-45 %
Agua	Saturado

Tabla II. Composición del biogás a partir de biomasa. Fuente: Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT 2008).

Los parámetros más importantes del biogás son:

Propiedades	Valor
Densidad	1,13 (kg/m ³)
Poder calorífico inferior (PCI)	5500 (kcal/m ³)

Tabla III. Propiedades de biogás. Fuente: Biogas Regions. Posibilidades del biogás en Castilla y León

6.3. Digestión anaerobia

La digestión de residuos orgánicos es un proceso de descomposición mediante el cual la materia orgánica se degrada por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno obteniendo como resultado una mezcla de gases, en su mayoría formados por metano y dióxido de carbono, denominado biogás y por otro lado la obtención de un lodo que puede ser utilizado como fertilizante.

Este proceso está formado por una serie de etapas consecutivas en cada una de las cuales interviene un tipo de bacterias que actúa de forma coordinada ya que el subproducto

que generan unas son el sustrato sobre el que se desarrollan las siguientes. Por tanto, podemos hablar de cuatro etapas en el proceso de digestión que describiremos a continuación.

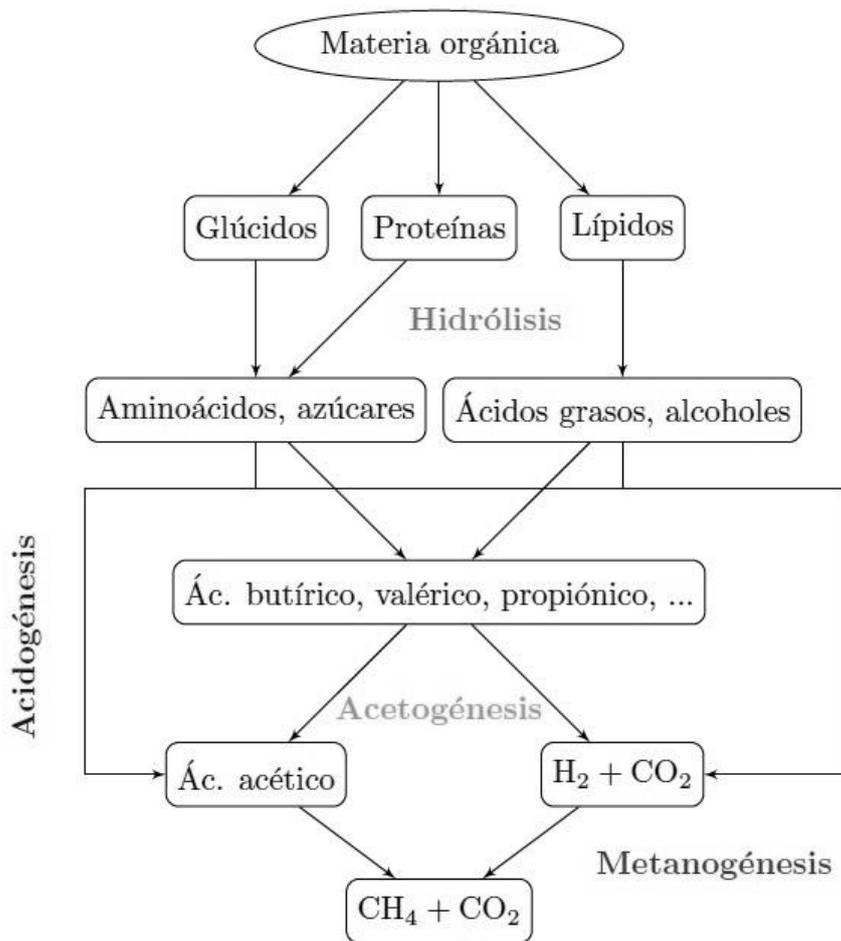


Diagrama 1. Fases de la fermentación anaerobia. Fuente: Diseño de un biodigestor de dos etapas a escala laboratorio

6.3.1 Etapa hidrolítica

Es la primera etapa, de la fermentación, en ella se transforman las macromoléculas, de las que está compuesta la materia orgánica, en moléculas solubles que pueden atravesar la pared celular de los microorganismos. La hidrólisis consiste en la transformación de las partículas y moléculas complejas (hidratos de carbono, proteínas y grasas) en diversos compuestos solubles (alcoholes, aminoácidos, ácidos grasos y azúcares) dependiendo del tipo de macromoléculas que es hidrolizado. Esta transformación se lleva a cabo por las bacterias hidrolítico-acidogénicas.

La velocidad de esta etapa varía en función del tamaño de las partículas y de la temperatura.

6.3.2 Etapa acidogénica o fermentativa

En esta segunda etapa los compuestos solubles formados en la etapa hidrolítica son fermentados principalmente a CO_2 , H_2 y a una serie de ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico y valérico entre otros). Las bacterias acidogénicas más comunmente encontradas en los digestores son las bacterias de las especies *Butyrivibrio*, *Propionibacterium*, *Clostridium* spp, *Bacteroides*, *Ruminococos*, *Bifidobacterium* spp, *Lactobacillus*, *Streptococos* y *Enterobacterias*. La formación de un tipo u otro de ácidos dependerá de la concentración de hidrógeno, si esta concentración es pequeña se formará principalmente ácido acético y si la concentración de hidrogeno es elevada se formarán ácidos de mayor tamaño.

6.3.3 Etapa acetogénica

Las bacterias involucradas en esta etapa (*Syntrophobacter wolinii*, *Syntrophomonas wolfei*, *Acetobacterium*, *Acetoanaerobium*, *Acetogenium*, *Clostridium* o *Eubacterium* entre las más destacadas) transforman los ácidos grasos volátiles de la etapa anterior en ácido acético, CO_2 e H_2 . Esta etapa es importante entre otras cosas porque elimina los restos de oxígeno que puedan quedar en el sustrato, ayudando a las bacterias metanogénicas que son exclusivamente anaeróbicas.

6.3.4 Etapa metanogénica

Las bacterias de esta última etapa son las responsables de la formación del metano a partir de los intermedios generados en las etapas acidogénica y acetogénica.

Coexisten dos grupos fundamentales de bacterias, las que actúan sobre el ácido acético formando CH_4 y CO_2 (bacterias metanogénicas acetoclásicas como son la *Methanosarcina* y *Methanothrix*) y las que producen el CH_4 a partir de la reacción del CO_2 y el H_2 (metanogénicas hidrogenófilas entre las cuales se encuentran las bacterias *Methanobacterium*, *Methanococos*, *Methanobrevibacter* o *Methanogenium*).

6.4. Parámetros de control

Existen una serie de factores que harán del proceso biológico de digestión un proceso más o menos eficaz. A continuación procedemos a describir los parámetros de control más importantes.

6.4.1 Temperatura

La temperatura influye no solo en la actividad de los microorganismos sino también en las propiedades físico-químicas y bioquímicas. Al aumentar la temperatura disminuye la solubilidad de los gases y por tanto desaparecen del medio de reacción agentes tóxicos como el NH_3 , H_2S y H_2 lo cual es beneficioso, sin embargo, también disminuye la concentración de CO_2 implicando un aumento del pH. El aumento de temperatura también trae consigo un aumento de la solubilidad de las sales orgánicas haciendo que sean más accesibles para los microorganismos aumentando así la velocidad del proceso anaerobio y por consiguiente la producción de biogás.

Existen tres rangos de temperatura en los que las bacterias actúan, el psicrófilico, el mesofílico y el termofílico, consiguiendo variar de forma importante los tiempos de retención de la biomasa a tratar.

	Rango de temperatura (°C)	Tiempo de retención (días)
Psicrófilico	15-25	30
Mesofílico	30-38	15-20
Termofílico	50-60	2-7

Tabla IV. Rangos de temperatura y tiempos de retención.

Con el aumento de temperatura aumenta la velocidad de crecimiento de las bacterias anaerobias y con ello la velocidad de reacción, como podemos observar en la tabla anterior, y por tanto disminuye el tiempo de residencia.

Es por este motivo por lo que el rango psicrófilico no es utilizado debido a que la baja velocidad conlleva elevados tiempos de residencia. Si se trabaja en el rango termofílico se

asegura la destrucción de patógenos, eliminación de malas hierbas y de huevos y larvas de insectos, motivo por el cual presentan interés para el uso del residuo como aplicación a suelos de cultivo. A pesar de las grandes ventajas de los sistemas termofílicos, estos requieren de mayor control debido a que a altas temperaturas el nitrógeno amoniacal se comporta como inhibidor, además de suponer mayores gastos debido al constante aporte de calor que es necesario para obtener las condiciones de operación.

Por ello el rango más habitual de trabajo es el mesofílico (alrededor de los 35 °C) pues en él la actividad de las bacterias involucradas en las diferentes etapas de la digestión es elevada sin llegar a ser un proceso con grandes necesidades de control.

6.4.2 Tiempo de retención hidráulico (θ)

Este valor representa el tiempo medio que permanece el sustrato dentro del reactor. Es un parámetro muy importante que depende fundamentalmente del tipo de reactor y del régimen de temperaturas en el que se trabaja. En el reactor mezcla completa este tiempo coincide con el tiempo de retención celular, tiempo que permanecen las bacterias en el interior del reactor, motivo por el cual deberá ser lo suficientemente largo como para que se genere la población bacteriana que provoca el proceso de digestión. El tiempo de retención hidráulico junto con el valor de velocidad de carga, definido como el volumen de purín que es alimentado al reactor por unidad de tiempo, son los principales parámetros de diseño de los que depende el volumen del reactor.

6.4.3 pH

Para la que la reacción se produzca de modo satisfactorio, el pH debe estar en torno a la neutralidad, siendo problemático si desciende por debajo de 6,0 o si se sitúa por encima de 8,3, debido a que algunas de las bacterias que producen la descomposición se ven inhibidas en medios demasiado ácidos o demasiado básicos.

El pH es un importante moderador del sistema influyendo en los equilibrios químicos, su papel fundamental es el equilibrio amonio-amoniaco debido a que el amoniaco libre es un importante inhibidor de la fase metanogénica.

Aunque es una variable que influye directamente sobre los procesos químicos no se considera una buena variable de control debido a que en el momento de detectar una variación importante de pH el fracaso de la reacción puede ser ya irreversible.

6.4.4 Agitación

En el interior del reactor es importante mantener un medio homogéneo en el que las poblaciones bacterianas estén en contacto con todo el sustrato del interior así como para mantener concentraciones medias bajas de inhibidores. Dependiendo del tipo de reactor utilizado para llevar a cabo la digestión anaerobia será necesario instalar algún equipo que se encargue de mantener el medio homogéneo mediante agitación.

6.4.5 Tóxicos

Existen una serie de componentes en los que una concentración elevada puede llevar a efectos inhibitorios, los más importantes son:

❖ Ácidos grasos volátiles

Una elevada concentración de estos ácidos en el medio produce una disminución en la producción de biogás, sin embargo son productos intermedios del propio proceso fermentativo. Entre los diferentes ácidos presentes el más importante es el ácido acético. Ahring et al., 1992, (fuente: Diseño de un biodigestor de dos etapas a escala laboratorio) concluyeron que concentraciones de ácidos grasos volátiles por debajo de 3000 mg de ácido acético/l, no producen ningún efecto inhibitorio sobre la reacción de producción de biogás.

❖ Nitrógeno amoniacal

Los residuos ganaderos contienen altas concentraciones de compuestos nitrogenados. Aunque el nitrógeno amoniacal es un importante nutriente para los microorganismos, sin el cual la producción de gas no podría producirse, una elevada concentración de este compuesto podría llevar a la inhibición del proceso, para valores superiores a 1500 mg/l, e incluso volverse tóxico, para valores superiores a los 3000 mg/l.

❖ Cationes y metales pesados

Hay una serie de metales que llegan a ser tóxicos una vez alcanzados ciertos niveles de concentración.

Cación	Concentración inhibitoria (mg/l)
Na	3500-5500
K	2500-4500
Ca	2500-4500
Mg	1000-1500

Tabla V. Concentración inhibitoria de cationes

6.5. Modelo cinético

Para poder predecir la evolución de las poblaciones bacterianas, la evolución del sustrato, la evolución de los compuestos intermedios y la producción de biogás debemos recurrir a complejos modelos en los cuales hay que tener en cuenta un mínimo de 15 variables. Sin embargo este tipo de reacciones anaerobias a partir de residuos orgánicos ha sido ampliamente estudiado y se han desarrollado modelos cinéticos más sencillos, basados en la dinámica de un solo componente, que se han aplicado con éxito a los residuos ganaderos (Fuente: Aprovechamiento energético de residuos ganaderos, Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo, Universitat de Lleida).

Las condiciones de un reactor de mezcla completa se obtienen del modelo de Chen y Hashimoto (1978), método que ha sido muy utilizado para tratamiento de residuos ganaderos.

$$S_1 = \frac{K}{\mu_m \theta - 1 + K} S_0 \quad (1)$$

El parámetro K es conocido como constante de inhibición de Chen y Hashimoto, y estos comprobaron que este parámetro aumenta con un aumento de la concentración de sólidos volátiles en el afluente del digestor llegando a las siguientes expresiones empíricas propuestas por Hashimoto (1984):

$$\mu_m = 0,013 \cdot T - 0,129 \quad (2)$$

$$K = 0,6 + 0,021 \cdot e^{0,05 \cdot S_0} \quad (3)$$

Con T = Temperatura, en °C, y S_0 = Concentración de sólidos volátiles, en gr/l .

En las condiciones anteriores de reactor de mezcla completa la eficiencia en la eliminación del sustrato es:

$$E = 1 - \frac{S_1}{S_0} = 1 - \frac{K}{\mu_m \theta - 1 + K} \quad (4)$$

Y la producción de gas por unidad de tiempo y volumen de reactor es

$$P_V = G_0 \frac{S_0 - S_1}{\theta} = \frac{G_0 S_0}{\theta} \left(1 - \frac{K}{\mu_m \theta - 1 + K} \right) \quad (5)$$

Siendo G_0 la producción de gas por unidad de sustrato eliminado. Hill (1982) da algunos valores medios para este parámetro a partir de valores experimentales de diferentes autores, obteniendo:

Origen del residuo	G_0 (l CH ₄ /gr SV)
Bobino	0,35
Vacuno	0,20
Porcino	0,45
Avícola	0,39

Tabla VI. Valores de G_0 para distintos residuos ganaderos (Hill, 1982)

7. Áreas y descripción del proceso

En este apartado se describirá la línea de tratamiento que seguirá el purín a lo largo del proceso:

- Recepción del purín
- Digestión anaerobia y producción de biogás

- Almacenamiento de biogás
- Cogeneración
- Separación sólido-líquido
- Almacenamiento de la fracción sólida

A continuación presentamos un diagrama del proceso:

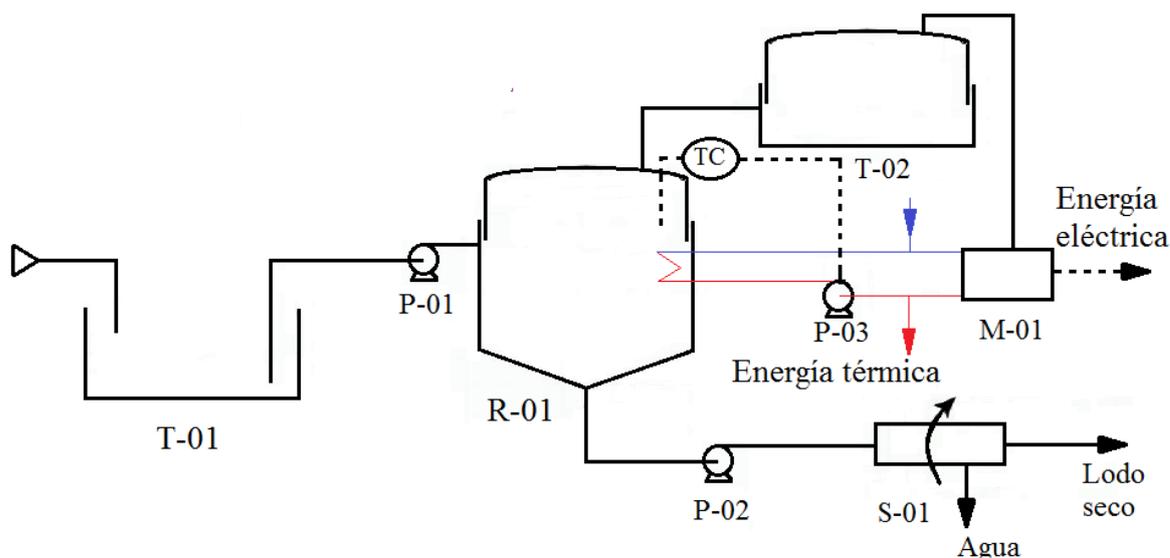


Gráfico II. Diagrama de flujo

7.1. Recepción del purín

El proceso se inicia con la recepción del purín que es llevado por una serie de colectores desde el establo hacia un tanque de almacenamiento (T-01), pasando antes de llegar a este por un sistema de rejillas de 30 mm de paso de luz para el desbaste del purín de objetos voluminosos que puedan dañar las bombas, ya que las especificaciones técnicas de estas estipulan un tamaño máximo de sólidos de 40 mm para su correcto funcionamiento (anexo II), de este modo trabajamos con cierto nivel de seguridad.

Dicho tanque de almacenamiento consiste en un depósito rectangular con un volumen de 13 m³ para acumular el purín generado en un periodo de 2 días y que en el caso de tener un contenido en sólidos mayor del supuesto podamos mezclar con agua para su dilución. El material de construcción del tanque de almacenamiento será de hormigón armado fabricado “in situ”, recubierto de material anticorrosión y enterrado.

Dispondrá de una bomba de impulsión (P-01) de 0,75 C.V. que impulsará el residuo desde este recipiente hasta el biodigestor donde entrarán en contacto el sustrato fresco con la mezcla reactiva del interior del reactor.

7.2. Digestión anaerobia y producción de biogás

El proceso de digestión se llevará a cabo en un biorreactor (R-01) mezcla completa que operará en continuo a una temperatura media de 35°C.

El purín será alimentado al biodigestor dos veces al día consiguiendo así un sistema equivalente a un reactor continuo y evitando el funcionamiento de las bombas de forma continuada y a bajo caudal.

El biodigestor es un depósito con cuerpo cilíndrico con un volumen total de 103,5 m³ cuyo material de construcción será el hormigón armado fabricado “in situ”, con una cubierta esférica formada por una lámina de PVC reforzado y por una parte inferior cónica para una mejor extracción de los lodos del interior del biorreactor.

Este proceso se realizará en régimen mesofílico, aproximadamente a 35°C, para ello será necesario un controlador de temperatura. El aporte de calor se consigue por medio de un intercambiador de calor interno al reactor, constituido por un serpentín de 418 metros en tubería de cobre de 2”, por el que circula agua caliente procedente del circuito de refrigeración del equipo de cogeneración, el paso de agua caliente al interior se hará de forma automática mediante el controlador de temperatura en el caso de que esta descienda en el interior por debajo de los 33°C.

De la parte superior del biorreactor saldrá un tubo de polietileno de 2” por el que será conducido el biogás generado hasta un área de almacenamiento antes de ser utilizado en el motor de cogeneración.

7.3. Almacenamiento del biogás

Las necesidades de caudal de biogás de los motores de cogeneración, incluidos los pequeños motores como el que instalaremos, son elevadas respecto a la generación de biogás producido en esta instalación. Por tanto será necesario el almacenamiento del biogás para un posterior uso, garantizando al sistema de presiones constantes de trabajo.

Dicho almacenamiento se llevará a cabo en un gasómetro (T-02) de 335 m³, recipiente delimitado por dos partes diferenciadas entre las cuales se acumula el biogás, la parte inferior compuesta por un tanque de agua y otra superior compuesta por una cubierta flotante provista de un sello para evitar el escape del biogás, la estructura será de hormigón armado fabricado “in situ” y la parte superior está formada por una lamina de acero inoxidable de 2 mm de espesor de la cual saldrá un tubo de polietileno que conducirá el biogás hasta el motor de cogeneración.

7.4. Cogeneración

Dispondremos de un equipo de cogeneración (M-01) de 50 kW el cual generará electricidad a partir del biogás obtenido por medio de la digestión anaerobia de los purines. El cogenerador viene equipado con todo lo necesario para el volcado de la electricidad generada al sistema de red eléctrica mediante su conexión a esta. Contará también con un sistema de refrigeración mediante el cual obtendremos agua caliente que será utilizada para el calentamiento del sustrato del interior del biorreactor en caso que sea necesario para mantener una temperatura de entre 33°C y 38°C. El resto del calor residual generado por el equipo de cogeneración quedará a disposición de la granja para un posible uso como puede ser el de calefacción del establo.

7.5. Separación sólido-líquido

El fango producido a la salida del biodigestor será llevado mediante bombeo (P-02) de 0,75 C.V. a un equipo de separación por presión (S-01) mediante el cual separaremos la fracción sólida, para que pueda ser transportada a una planta de gestión de residuos, de la fracción líquida que podrá ser vertido a la red de saneamiento para su posterior tratamiento en una depuradora, si no existiera esta posibilidad tendríamos que proceder a la instalación de un

deposito para luego transportarla mediante el uso de un camión cisterna a una planta de tratamiento de aguas.

7.6. Almacenamiento de la fracción sólida

El sustrato digerido y seco se recogerá sobre un volquete, el cual será transportado a una planta de gestión de residuos.

8. Datos de partida

Tomaremos como datos de partida una granja con un total de 1200 cerdos con una generación anual de 2266,31 m³ de purín y con la caracterización de este que queda reflejada en la siguiente tabla.

Parámetro	Unidades	Valores medios
Densidad	(kg/m ³)	1019,00
Sólidos totales	(g/l)	62,16
Sólidos volátiles	(g/l)	42,33
DQO	(g/Kg)	34,66
Nitrógeno total	(g/Kg)	4,43
Nitrógeno amoniacal	(g/Kg)	2,86
Fosforo	(g/Kg)	3,16
Potasio	(g/Kg)	3,02

Tabla VII. Caracterización del purín. Elaboración propia a partir de los datos de la Tabla I.

El dimensionamiento de los equipos principales necesarios en el proceso de obtención del biogás a partir de los residuos generados por esta actividad comercial se hará en función de estos datos de partida como queda reflejado en el anexo I: Cálculos.

9. Resultados a obtener

Los resultados esperados en el proceso de digestión serán los siguientes:

- Producción volumétrica de biogás al 60 % de metano de 154,40 m³ de biogás CN/día
- Producción neta de energía de 18.095 kW/año
- Beneficio anual de 2.533,30 €
- Lodo con una humedad del 30 %

10. Conclusiones

A primera vista, con los resultados obtenidos, podríamos concluir que el proceso de biodigestión es rentable, ya que genera un beneficio anual de 2.533,30 €, sin embargo, la inversión es elevada, 146.684 €, y necesitaríamos un periodo de recuperación del capital largo años, por lo tanto, y teniendo en cuenta que los equipos hay que cambiarlos una vez superada su vida útil, desde el punto de vista exclusivamente financiero no es una buena opción.

Sin embargo, deberíamos tener en cuenta que es una buena opción por los beneficios medioambientales que genera (eliminación de malos olores, mayor salubridad y reducción de la contaminación de suelos y aguas por vertido de estos residuos).

Initially from the results obtained, it can be conclude that the process of biodigestion is profitable, generating an annual profit of € 2,533.30, however, the investment is high, € 146,684, and the repayment periods will be long, therefore, and considering that the equipments have to be change once exceeded its useful life, from the financial point of view is not a good option.

However, we should bear in mind that it is also a good option for the environmental benefits generated (removal of odors, increased health safety and reducing soil and water pollution due to the disposal of such waste).

Bibliografía

Barrientos Barria R.A., Estudio técnico financiero de una planta generadora de electricidad a partir de purines.

Flotats X, Campos E., Bonmatí A., Aprovechamiento energético de residuos ganaderos.

González Catalán J., Diseño de un biodigestor de dos etapas a escala laboratorio.

González Sánchez D., Padrón Arteaga I., Planta de digestión anaerobia de residuos porcinos.

Instituto canario de estadística: http://www.gobiernodecanarias.org/istac/temas_estadisticos/sectorprimario/agricultura/ganaderia/

Plan de biodigestión de purines, Ministerio de Medio ambiente, medio rural y marino: http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/PLAN_BIODIGESTION_PURINES_63_tcm7-5932.pdf

Sodemasa S.A.U., Planta de tratamiento de purín en Valderrobres.

<http://www.fisicaeingenieria.es/resources/tuberias.pdf>

Anexo I

Cálculos

Índice

	Página
1. Volumen de purín generado	2
2. Dimensiones del biodigestor	5
3. Obtención estimada de biogás	7
4. Volumen del gasómetro	9
5. Potencia eléctrica generada por el cogenerador	12
6. Caudal de lodos generados	13
7. Longitud del intercambiador de calor	14
8. Potencia de las bombas	19
8.1. Bombas del biodigestor	19
8.2. Bomba del serpentín	26
9. Cálculo del separador sólido-líquido	29
Bibliografía	31

1. Volumen de purín generado

Con el fin de llevar a cabo los cálculos necesarios para el dimensionamiento de los equipos será necesario conocer el volumen de purines a tratar. Estos cálculos los realizaremos mediante una aproximación a partir de los datos obtenidos por fuentes del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente y por el Instituto Canario de Estadística (ISTAC).

Los datos ofrecidos por el ISTAC, en el que queda reflejado el tamaño de las explotaciones de porcino en la isla de Tenerife, hablan de un total de 364 explotaciones, la mayoría de ellas con un número muy reducido de cerdos, 254 de ellas contaban con menos de 5 cabezas. En el lado opuesto, es decir, las granjas de gran tamaño son muy pocas existiendo solo una explotación que superaba los 2000 ejemplares.

Número de explotaciones porcinas e intervalos de tamaño de dichas explotaciones en Tenerife	
Número de cabezas	Número de explotaciones
De 1 a <5	254
De 5 a <10	29
De 10 a <20	19
De 20 a <50	22
De 50 a <100	16
De 100 a <200	5
De 200 a <500	5
De 500 a <1000	6
De 1000 a <2000	7
De 2000 a <5000	1

Tabla I. Número de explotaciones según tamaño en la isla de Tenerife. Fuente ISTAC (1999)

En el año de realización del estudio el censo de cerdos era de 22388 ejemplares en la isla de Tenerife, número que ha ido aumentando llegando a los 29037 en el último censo (año 2012) recogido por el ISTAC.

	Lechones <20 kg	Cerdos de cebo > 20 kg	Reproductores			Total
			Verracos	No han parido	Han parido	
Tenerife norte	3513	5814	74	267	1245	10913
Tenerife sur	6375	9646	90	285	1728	18124
Total isla Tenerife	9888	15460	164	552	2973	29037

Tabla II. Censo ganadero porcino para la isla de Tenerife por plazas. Fuente: ISTAC (2012)

La generación media de purín depende del tipo de plaza según los datos ofrecidos por el ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente.

Tipo de ganado (plaza)	Estiércol líquido y semilíquido (m3/año)
Cerda en ciclo cerrado*	17,75
Cerda con lechones hasta destete (de 0 a 6 kg)	5,1
Cerda con lechones hasta 20 kg	6,12
Cerda de reposición	2,5
Lechones de 6 a 20 kg	0,41
Cerdo de 20 a 50 kg	1,8
Cerdo de 50 a 100 kg	2,5
Cerdo de cebo de 20 a 100 kg	2,15
Verracos	6,12
* Incluye la madre y su descendencia hasta finalización del cebo	

Tabla III. Generación de estiércol en función del tipo de ganado. Fuente: Anexo I del Real Decreto 324/2000

Para tratar de que se asemeje a un caso real en la isla de Tenerife podemos tomar un modelo de granja de 1200 cerdos y para tener una aproximación del purín generado haremos los siguientes cálculos.

$$\text{Porcentaje de cerdos por plaza} = \frac{\text{Número de cerdos por plaza}}{\text{Número de cerdos totales}} \cdot 100 \quad [1]$$

$$\text{Número aproximado para una granja de 1200 cerdos} = \frac{\text{Porcentaje de cerdos por plaza}}{100} \cdot 1200 \quad [2]$$

$$\text{Estiércol generado en una granja de 1200 cerdos} = \frac{\text{Estiércol por plaza}}{\text{Número aproximado para una granja de 1200 cerdos}} \quad [3]$$

	Número de cerdos por plaza (ISTAC 2012)	Porcentaje de cerdos por plaza [1]	Número aproximado para una granja de 1200 cerdos [2]	Estiércol por plaza (m ³ /año) (RD 324/2000)	Estiércol generado en una granja de 1200 cerdos (m ³ /año) [3]
Cerdas con lechones	2973	10,24%	123	5,10	626,61
Lechones <20 kg	9888	34,05%	409	0,41	167,54
Cerdos de cebo > 20 kg	15460	53,24%	639	2,15	1373,65
Verracos	164	0,56%	7	6,12	41,48
Madres que no han parido	552	1,90%	23	2,50	57,03

Tabla IV. Cálculo de estiércol generado en la granja modelo

A partir de los valores anteriores tendremos un volumen total de purín de 2266,31 m³/año que equivale:

$$Q = 2266,31 \left(\frac{m^3}{año} \right) \cdot \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} = 6,21 \frac{m^3}{día} = 6209 \frac{l}{día}$$

2. Dimensiones del biodigestor

El tamaño del biodigestor se calcula de forma que el volumen útil represente el 90% del mismo:

$$V_t = \frac{V_u}{0,9} \quad [4]$$

$$V_u = \theta \cdot V_0 \quad [5]$$

Donde:

V_t : Volumen total del biodigestor (m³)

V_u : Volumen útil del biodigestor (m³)

θ : Tiempo de retención hidráulico (días)

V_0 : Caudal del influente (m³/día)

Tomando como valor razonable de tiempo de retención hidráulico, para un biodigestor mezcla completa, un valor de 15 días y conocido que el caudal diario a tratar es de 6,21 m³/día, se obtienen los siguientes resultados:

$$V_u = 15(\text{días}) \cdot 6,21 \left(\frac{m^3}{día} \right) = 93,14 \text{ m}^3 = 93136 \text{ l}$$

$$V_t = \frac{93,14 \text{ m}^3}{0,9} = 103,48 \text{ m}^3 = 103484 \text{ l}$$

El volumen no ocupado del biodigestor servirá para acumular una pequeña cantidad de biogás además de permitir pequeñas variaciones en el volumen de purín acumulado en el interior del biorreactor ya que el volumen de residuos puede presentar pequeñas variaciones en este tipo de instalaciones.

Además del volumen debemos también calcular la forma ya que la parte superior, cuerpo medio e inferior deben ser de forma esférica, cilíndrica y cónica, respectivamente, para facilitar la recogida de biogás y la extracción de los lodos del interior.

En los digestores mezcla completa se recomienda una relación altura/diámetro (H/D) de 1:1 hasta alturas de 10 metros y una pendiente de la base cónica no inferior a 0,9 para una buena extracción de la fracción sólida.

Para el cálculo de estas dimensiones haremos uso de las expresiones deducidas por Muñoz Valero, J. A. y Hernández Díaz, E. (1986):

$$W = 0,9 - 0,03(V_t)^{1/3} \quad [6]$$

$$D = \left[\frac{24 \cdot V_t}{\pi(W + 6)} \right]^{1/3} \quad [7]$$

Donde:

W : Pendiente de la base cónica en tanto por uno

V_t : Volumen total de biodigestor (m³)

D : Diámetro del biodigestor (m)

H : Altura de la parte cónica del biodigestor (m)

Sustituyendo el volumen total calculado en la expresión [6] y posteriormente el valor de la pendiente en [7] obtenemos:

$$W = 0,9 - 0,03(103,48)^{1/3} = 0,76$$

$$D = \left[\frac{24 \cdot 103,48}{\pi(0,76 + 6)} \right]^{1/3} = 4,89 \approx 4,9 \text{ m}$$

Lo que nos lleva a considerar también una altura de 4,9 m.

3. Obtención estimada de biogás

Los cálculos estarán basados en el modelo de Chen y Hashimoto (1978) como ya hemos descrito en el apartado fundamento teórico en la memoria de este proyecto.

Según este método la producción de gas por unidad de tiempo y unidad de volumen de reactor es:

$$P_V = G_0 \frac{S_0 - S_1}{\theta} = \frac{G_0 S_0}{\theta} \left(1 - \frac{K}{\mu_m \theta - 1 + K} \right) \quad [8]$$

Donde

P_V : Volumen de metano en (l CH₄ CN/día · l_{reactor})

G_0 : Producción de gas por unidad de sustrato eliminado (0,45 l CH₄/gr SV)

S_0 : Concentración de sólidos en suspensión volátiles en el influente (g/l)

θ : Tiempo de retención hidráulico (15 días)

K : Constante de inhibición de Chen y Hashimoto

μ_m : Tasa máxima de crecimiento de los microorganismos (días⁻¹)

Para calcular la constante de inhibición y la tasa máxima de crecimiento en ganado porcino, se usan las siguientes expresiones empíricas propuestas por Hashimoto (1984):

$$\mu_m = 0,013 \cdot T - 0,129 \quad [9]$$

$$K = 0,6 + 0,021 \cdot e^{0,05 \cdot S_0} \quad [10]$$

Donde

T = Temperatura del proceso (°C)

S_0 = Concentración de sólidos volátiles (g/l)

Definimos también la eficiencia de eliminación de sustrato mediante:

$$E = 1 - \frac{K}{\mu_m \theta - 1 + K} \quad [11]$$

Debemos cambiar las unidades de S_0 de la tabla I de la memoria para ajustarlo a las unidades necesarias en la expresión [10]:

$$S_0 = 42,33 \left(\frac{g}{kg} \right) \cdot 1019 \frac{kg}{m^3} \cdot \frac{1 m^3}{1000 l} = 43,13 \left(\frac{g}{l} \right)$$

De este modo, sustituyendo en las expresiones [9] y [10], el valor considerado de $T = 35$ °C y el valor medio de S_0 , tenemos que:

$$\mu_m = 0,013 \cdot 35 - 0,129 = 0,326 \text{ (días}^{-1}\text{)}$$

$$K = 0,6 + 0,021 \cdot e^{0,05 \cdot 43,13} = 0,781$$

Sustituyendo estos valores en las expresiones [8] y [11] obtenemos los siguientes valores:

$$P_V = \frac{0,45 \cdot 43,13}{15} \left(1 - \frac{0,781}{0,326 \cdot 15 - 1 + 0,781} \right) = 1,078 \left(\frac{l \text{ CH}_4 \text{ CN}}{\text{día} \cdot l_{\text{reactor}}} \right)$$

$$E = 1 - \frac{0,781}{0,326 \cdot 15 - 1 + 0,781} = 0,930$$

A partir de P_V podemos definir la cantidad de metano diario obtenido mediante:

$$PVD = P_V \cdot V_u \quad [12]$$

Donde

PVD : Producción volumétrica de metano (l CH₄/día)

V_u : Volumen útil de reactor (l)

Quedando la expresión como sigue:

$$PVD = 1,078 \cdot 93136 = 100358,7 \left(\frac{l \text{ CH}_4}{\text{día}} \right) = 100,36 \left(\frac{m^3 \text{ CH}_4}{\text{día}} \right)$$

Por tanto, considerando que el contenido en metano del biogás es de aproximadamente el 60%, tomado el valor medio de la tabla 2 de la memoria descriptiva, se puede estimar una producción de biogás de:

$$PVB = 100,36 \left(\frac{m^3 \text{ CH}_4}{\text{día}} \right) \cdot \frac{1(m^3 \text{ biogas})}{0,6(m^3 \text{ CH}_4)} = 167,26 \left(\frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{día}} \right)$$

Donde

PVB : Producción volumétrica de biogás (m³ biogás/día)

4. Volumen del gasómetro

Para el cálculo del volumen del gasómetro debemos tener en cuenta que sea suficiente para albergar el gas producido en dos días para que pueda ser utilizado en el momento en que sea necesario su uso, por ejemplo en el momento en que sea necesario un aporte de calor al sistema, pero que no sea demasiado grande para no generar costes elevados en su fabricación, por tanto el volumen del gasómetro será de:

$$V_{biogás} = 167,26 \left(\frac{m^3 \text{ biogas}}{\text{día}} \right) \cdot 2(\text{días}) = 334,52 \approx 335(m^3 \text{ biogas CN})$$

Para el cálculo de las dimensiones empezaremos estudiando la presión a la que estará sometido el biogás en el gasómetro, esta presión será la ejercida por el peso de la tapa flotante de acero que tendrá un espesor de 2 milímetros y cuya fórmula de presión será la siguiente:

$$P = \frac{F}{A} \quad [13]$$

Donde

P = presión (kg/m²)

F = peso de la tapa (kg)

A = área de la tapa (m²)

Si tenemos en cuenta la fórmula del peso:

$$F = V \cdot \delta \quad [14]$$

Donde

F: peso de la tapa (kg)

V: volumen de la tapa (m³)

δ: densidad del acero (7850 kg/m³)

Y sabiendo que la fórmula del volumen de la tapa es:

$$V = A \cdot \varepsilon \quad [15]$$

Donde

A: área de la tapa (m^2)

ε : espesor (0,002 m)

Si sustituimos las expresiones [14] y [15] en la expresión [13] nos queda:

$$P = \varepsilon \cdot \delta = 0,002 \cdot 7850 = 15,7 \frac{kg}{m^2}$$

La presión ejercida por la tapa será al mismo tiempo la presión de trabajo del equipo de cogeneración tratándose este de un equipo de baja presión que no puede superar los 3 bares. Por tanto para comparar si el espesor de la tapa es el correcto debemos convertir la presión ejercida a bar:

$$15,7 \frac{kg}{m^2} \cdot \frac{0,098 \text{ bar}}{1 \frac{kg}{m^2}} = 1,54 \text{ bar}$$

Comprobamos por tanto que la presión ejercida por la tapa es menor que la máxima de trabajo.

El volumen del gasómetro de capa flotante viene dado por:

$$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot h \quad [16]$$

Si tomamos para las dimensiones óptimas, al igual que en el caso del biorreactor, una relación $h=D$ y despejamos, tenemos:

$$D = h = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 335}{\pi}} = 7,53 \text{ m} \approx 7,60 \text{ m}$$

5. Potencia eléctrica generada por el cogenerador

La energía producida en el proceso será:

$$E_p = PVB \cdot PCI \quad [17]$$

Donde

E_p : Energía neta producida (kJ/día)

PVB: Producción volumétrica de biogás (m^3 biogás CN/día)

PCI: Poder calorífico inferior (kJ/m^3)

Si tenemos en cuenta que el valor de PVB = 154,40 ($\text{m}^3/\text{día}$) y PCI = 5500 (kcal/ m^3), como queda reflejado en el apartado 6.2 de la memoria, pasando de kcal a kJ y sustituyendo en [17], tenemos:

$$E_p = 154,40 \left(\frac{\text{m}^3 \text{ biogas CN}}{\text{día}} \right) \cdot 5500 \left(\frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} \right) \cdot \frac{4,184(\text{kJ})}{1 (\text{kcal})} = 3553006,5 \left(\frac{\text{kJ}}{\text{día}} \right)$$

La potencia generada finalmente por la unidad de cogeneración vendrá dada por:

$$P_G = \left(\frac{E_P}{t \cdot 3600} \right) \cdot \eta \quad [18]$$

Donde

P_G : Potencia generada en la cogeneración (kW/día)

E_P : Energía producida durante la digestión del purín (kJ/día)

t : Tiempo de funcionamiento del equipo de cogeneración (h/día)

η : Rendimiento eléctrico del equipo de cogeneración en tanto por uno

Haciendo uso de los datos de la ficha técnica del equipo de cogeneración del anexo III-Fichas Técnicas, necesitamos un caudal de biogás de 24 m³ biogás/h, con lo cual el tiempo que podremos tener en funcionamiento el equipo será de:

$$t = \frac{PVB}{24} = \frac{154,40 \left(\frac{m^3 \text{ biogas CN}}{\text{día}} \right)}{24 \left(\frac{m^3 \text{ biogas CN}}{h} \right)} = 6,43 \left(\frac{h}{\text{día}} \right) \approx 6,4 \left(\frac{h}{\text{día}} \right)$$

Y la misma ficha hace referencia a un rendimiento del 35,3 %, quedando la expresión [18] como sigue:

$$P = \left(\frac{3553006,5}{6,4 \cdot 3600} \right) \cdot 0,353 = 54,4 \frac{kW}{\text{día}}$$

6. Caudal de lodos generados

Para calcular los lodos que se generarán debemos realizar un balance de materia en el biodigestor:

$$I = B + E \quad [19]$$

Donde

I: Caudal del influente (kg/día)

B: Caudal de biogás (kg/día)

E: Caudal del efluente (kg/día)

Tenemos que calcular por tanto los caudales másicos del influente y de la corriente de biogás.

$$I = 6,61 \left(\frac{m^3}{día} \right) \cdot 1019 \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 6327,04 \left(\frac{kg}{día} \right)$$

$$B = 154,40 \left(\frac{m^3}{día} \right) \cdot 1,13 \left(\frac{kg}{m^3} \right) = 174,47 \left(\frac{kg}{día} \right)$$

$$E = 6327,04 \left(\frac{kg}{día} \right) - 174,47 \left(\frac{kg}{día} \right) = 6152,57 \left(\frac{kg}{día} \right)$$

7. Longitud del intercambiador de calor

Para los cálculos necesarios para estipular la longitud del intercambiador interno necesitaremos antes definir algunos parámetros del proceso, como son las temperaturas de los fluidos implicados en el intercambio de calor y los datos de la tubería.

En cuanto a las temperaturas del agua de calentamiento es la que sale del sistema de calefacción del cogenerador y según su ficha técnica será de 88 °C, si tenemos en cuenta un pequeño margen de seguridad, podremos afirmar que la temperatura inicial será de 80 °C y con el fin de no instalar un intercambiador excesivamente supondremos una temperatura de salida de 55 °C. Los intervalos de temperatura del sustrato serán entre los 32 °C, momento en cual se pondría en funcionamiento el paso de agua a través del serpentín, y los 38°C, a esa temperatura se detendrá el paso de agua a través del equipo de transmisión, obteniendo de esta manera una temperatura media de trabajo de 35 °C como ya quedo reflejado en la memoria de este proyecto.

	Temperatura entrada (°C)	Temperatura salida (°C)
Agua	80	50
Purín	32	38

Tabla V. Temperaturas del proceso de intercambio de calor. Elaboración propia

La tubería seleccionada será de cobre con un diámetro nominal de 2”.

Tubería	
Material	Acero inoxidable de 2”
Diámetro interno (m)	0,05250
Diámetro externo (m)	0,06033
Número de catálogo	40

Tabla VI. Datos de la tubería

Una vez definidos los parámetros de diseño pasamos al cálculo del intercambiador, para ello haremos uso de la ecuación general de transmisión de calor:

$$P = Um \cdot Am \cdot \Delta Tm$$

Donde

Am : área media logarítmica de transferencia de calor (m^2)

P : potencia calorífica recuperable del agua de refrigeración (kcal/h)

Um : Coeficiente global de transmisión de calor ($kcal/h \cdot m^2 \cdot ^\circ C$)

ΔTm : Incremento medio logarítmico de la temperatura ($^\circ C$)

Quedando un área media de intercambio

$$Am = \frac{P}{Um \cdot \Delta Tm} \quad [20]$$

La potencia calorífica se calcula a partir de la expresión:

$$P = m \cdot C_e \cdot (T_{a_e} - T_{a_s}) \quad [21]$$

Donde

m: caudal másico de agua de calentamiento (kg/h)

C_e: calor específico del agua (kcal/kg·°C)

T_{a_e}: temperatura del agua de calentamiento a la entrada (°C)

T_{a_s}: temperatura del agua de calentamiento a la salida (°C)

El agua que se va a usar para el calentamiento del sustrato en el biorreactor será la de calefacción del motor de cogeneración. Según especificaciones técnicas del equipo de cogeneración (anexo III) el caudal volumétrico de agua será de 4 m³/h, valor que debemos convertir en flujo másico haciendo uso de la densidad del agua a la temperatura media de trabajo, que será de aproximadamente 65 °C, cuya densidad es de 980,45 kg/m³:

$$m = Q \cdot \rho = 4 \cdot 980,45 = 3921,8 \frac{kg}{h}$$

Tenemos así que la expresión [21] queda:

$$P = 3921,8 \cdot 1,001 \cdot (80 - 50) = 117771,7 \frac{kcal}{h}$$

En cuanto al valor del coeficiente total de transmisión recurriremos al manual de cálculos de ingeniería química McGraw-Hill, el cual establece unos intervalos comunes de coeficientes totales de transferencia de calor, para líquido-líquido por convección libre con fluido característico el agua, de entre 41,9 y 340,7 w/m²·°C. De este intervalo escogeremos el

menor valor con el objetivo de evitar errores en los cálculos, por tanto el valor del coeficiente en nuestro caso será de:

$$41,9 \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} \cdot \frac{1 J/s}{1 w} \cdot \frac{1 cal}{4,184 J} \cdot \frac{3600 s}{1 h} \cdot \frac{1 kcal}{1000 cal} = 36,05 \frac{kcal}{h \cdot m^2 \cdot ^\circ C}$$

Por último debemos calcular el incremento medio logarítmico de la temperatura cuya fórmula es:

$$\Delta T_m = \frac{(T_{a_e} - T_{s_s}) - (T_{a_s} - T_{s_e})}{Ln \frac{T_{a_e} - T_{s_s}}{T_{a_s} - T_{s_e}}} \quad [22]$$

Donde

T_{a_e} : temperatura del agua de calentamiento a la entada ($^\circ C$)

T_{a_s} : temperatura del agua de calentamiento a la salida ($^\circ C$)

T_{s_e} : temperatura del sustrato a la entada ($^\circ C$)

T_{s_s} : temperatura del sustrato a la salida ($^\circ C$)

Estos valores están estipulados al inicio del apartado en la tabla V, quedando al sustituir en la ecuación [22]:

$$\Delta T_m = \frac{(80 - 38) - (50 - 32)}{Ln \frac{80 - 38}{50 - 32}} = 28,33 \text{ } ^\circ C$$

Sustituyendo ahora en la expresión [20], nos queda:

$$Am = \frac{117771,7}{36,05 \cdot 28,33} = 115,33 \text{ m}^2$$

El área media logarítmica de transferencia de calor viene dada por la expresión:

$$Am = \pi \cdot L \cdot Dm$$

Donde

L: longitud de la tubería (m)

Dm: diámetro medio logarítmico

Si despejamos la longitud nos queda:

$$L = \frac{Am}{\pi \cdot Dm} \quad [23]$$

El valor del diámetro medio logarítmico se calcula mediante:

$$Dm = \frac{D_e - D_i}{\ln \frac{D_e}{D_i}} \quad [24]$$

Donde

D_e : diámetro exterior de la tubería (m)

D_i : diámetro interior de la tubería (m)

Dichos diámetros están especificados en la tabla VI de este documento, siendo $D_i=0,05250$ m y $D_e=0,06033$ m, quedando la expresión [24]:

$$D_m = \frac{0,06033 - 0,05250}{\ln \frac{0,06033}{0,05250}} = 0,05632 \text{ m}$$

Sustituyendo en [23] tenemos que:

$$L = \frac{73,81}{\pi \cdot 0,05632} = 417,12 \approx 418 \text{ m}$$

8. Potencia de las bombas

8.1. Bombas del biodigestor

Como hemos calculado en el apartado anterior los caudales diarios a tratar tanto en el influente como en el efluente son muy parecidos y por tanto los cálculos descritos en este apartado podrán ser utilizados para las dos bombas de las que hará uso el proceso. Así mismo, y teniendo en cuenta que la línea del influente cuenta con un caudal algo mayor, realizaremos los cálculos basándonos en esta línea de entrada.

La potencia de la bomba se calcula mediante la fórmula:

$$P_B = \frac{c \cdot W \cdot Q_B \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad [25]$$

Donde

P_B : Potencia de la bomba (c.v.)

c : coeficiente para aguas sucias ($c=1,25$)

W : peso específico del purín (kg/dm^3)

Q_B : caudal a elevar (l/s)

H : altura manométrica (m)

η : rendimiento de la bomba (tanto por uno)

Por tanto debemos calcular los valores de W , Q y H antes de poder continuar con el cálculo de la potencia de la bomba.

El valor del peso específico del purín será:

$$W = 1019 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ dm}^3} = 1,019 \left(\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} \right)$$

Para el cálculo del caudal de la bomba empezaremos calculando el diámetro de la tubería a utilizar:

$$Q = V \cdot S \quad [26]$$

Donde

Q : caudal (m^3/s)

V : velocidad (m/s)

S : sección (m^2)

La velocidad según datos de diseño debe estar comprendida entre 0,6-2,4 m/s para entre otras cosas evitar sedimentaciones, en nuestro caso tomaremos un valor intermedio de 1,5 m/s.

Debemos también calcular el caudal del influente:

$$Q_I = 6,21 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \cdot \frac{1 \text{ hora}}{3600 \text{ s}} = 7,19 \cdot 10^{-5} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Nos queda, despejando en la expresión [26], una sección de paso de:

$$S = \frac{Q}{V} = \frac{7,19 \cdot 10^{-5}}{1,5} = 4,79 \cdot 10^{-5} (m^2)$$

Para el cálculo del diámetro interno de la tubería usaremos la expresión:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad [27]$$

Quedando:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot S}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 4,79 \cdot 10^{-5}}{\pi}} = 7,81 \cdot 10^{-3} (m)$$

Nos encontramos un diámetro muy pequeño por lo que no usaremos una tubería de esta sección, sino que haremos uso de una tubería de mayor sección y calcularemos el tiempo que tendremos en funcionamiento la bomba. En nuestro caso elegiremos una tubería de 2" que tiene un diámetro interior de 0,0525 m.

Con estos datos preestablecidos, y sustituyendo en las expresiones [26] y [27], tenemos un caudal de bombeo de:

$$Q_B = 1,5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,0525^2}{4} = 3,25 \cdot 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right) = 3,25 \left(\frac{l}{s} \right)$$

Por tanto tendremos un tiempo de bombeo diario de:

$$\text{Tiempo de bombeo} = \frac{Q_I}{Q_B} = \frac{6,21 \left(\frac{m^3}{\text{día}} \right)}{3,25 \cdot 10^{-3} \left(\frac{m^3}{s} \right)} = 1,91 \cdot 10^3 \left(\frac{s}{\text{día}} \right) \approx 0,53 \left(\frac{h}{\text{día}} \right)$$

Para el cálculo de la altura manométrica debemos usar:

$$H = H_g + \sum F + Cc \quad [28]$$

Donde

H_g : altura geométrica

$\sum F$: suma de las pérdidas de carga

Cc : carga cinética

En nuestro caso la altura geométrica vendrá determinada por la altura del biodigestor que es de 5 metros aproximadamente. La entrada no se hará por la parte superior pero el tanque de almacenamiento es enterrado por tanto el valor tomado nos dará cierto nivel de seguridad.

La suma de las pérdidas de carga vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\Sigma F = f \cdot \frac{(L_{tubería} + L_{equivalente}) \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot D} \quad [29]$$

Donde

$L_{tubería}$: longitud de tubería recta (15 m)

$L_{equivalente}$: longitud equivalente de los accesorios (m)

V : velocidad de conducción (1,5 m/s)

g : valor de la gravedad (9,8 m/s)

D : diámetro de la conducción (0,0525 m)

f : coeficiente de fricción

Para la longitud equivalente tendremos en cuenta los elementos singulares instalados:

Elemento instalado	Número de elementos	longitud equivalente por accesorio	Longitud equivalente total
Válvula de retención	1	0,65	0,65 m
codo 90°	4	1,5	6,00 m
		Total	6,65 m

El coeficiente de fricción se calcula a partir de la fórmula de Blasius para régimen turbulento:

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad [30]$$

Calculamos el módulo de Reynolds:

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad [31]$$

Donde

V : velocidad de conducción (1,5 m/s)

D : diámetro de la conducción (0,0525 m)

ρ : densidad del purín (1019 (kg/m³))

μ : viscosidad dinámica (kg·m/s)

Según Chen y Hashimoto (1976) la viscosidad se puede calcular mediante:

$$\mu = K \cdot \left(\frac{8 \cdot V}{D}\right)^{n-1} \cdot \left(\frac{3 \cdot n + 1}{4 \cdot n}\right)^n \quad [32]$$

Donde los valores de K y n los definió Chen con unos valores de 0,0122 Pa·s y 0,81 respectivamente, quedando la expresión [32] como:

$$\mu = 0,0122 \cdot \left(\frac{8 \cdot 1,5}{0,0525}\right)^{0,81-1} \cdot \left(\frac{3 \cdot 0,81 + 1}{4 \cdot 0,81}\right)^{0,81} = 0,0046 \left(\frac{kg \cdot m}{s}\right)$$

Si sustituimos en la expresión [31] obtenemos un valor del número de Reynolds de:

$$Re = \frac{1,5 \cdot 0,0525 \cdot 1019}{0,0046} = 17629$$

Confirmamos por tanto que nos encontramos en régimen turbulento y que podremos hacer uso de la expresión [30]:

$$f = \frac{0,316}{17629^{0,25}} = 0,0274$$

Aplicando los valores calculados a la expresión [29] tenemos:

$$\Sigma F = 0,0274 \cdot \frac{(15 + 6,65) \cdot 1,5^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 0,0525} = 1,298 \text{ m} \approx 1,30 \text{ m}$$

Para el cálculo de la carga cinética usamos la ecuación:

$$Cc = \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,8} = 0,115 \text{ m} \approx 0,12 \text{ m}$$

Calculamos la altura manométrica sustituyendo en [28]:

$$H = 5 + 1,30 + 0,12 = 6,42 \text{ m}$$

La presión a suministrar por la bomba será la presión manométrica por un coeficiente de seguridad situado entre el 5% y el 50%, tomaremos el valor máximo del 50%, quedando:

$$H = 6,42 \cdot 1,5 = 9,63 \text{ m}$$

La potencia de la bomba, considerando un valor aceptable de rendimiento del 70%, queda, sustituyendo en la expresión [25]:

$$P_B = \frac{1,25 \cdot 1,019 \cdot 3,25 \cdot 9,63}{75 \cdot 0,70} = 0,75 \text{ C.V.}$$

Pasamos este valor a kW para poderlo comparar posteriormente con la potencia generada en el proceso:

$$0,75 \text{ C.V.} \cdot \frac{1,36 \text{ C.V.}}{1 \text{ kW}} = 1,02 \text{ kW}$$

8.2. Bomba del serpentín

La potencia de la bomba se calcula mediante la fórmula:

$$P_B = \frac{W \cdot Q_B \cdot H}{75 \cdot \eta} \quad [33]$$

Donde

P_B : Potencia de la bomba (c.v.)

W : peso específico del agua a temperatura media de 65 ° (0,98 kg/dm³)

Q_B : caudal a elevar (l/s)

H : altura manométrica (m)

η : rendimiento de la bomba (tanto por uno)

El caudal de líquido es de 4 m³/h, tal y como aparece en la ficha técnica del equipo de cogeneración ya que será la corriente de agua usada para su refrigeración la que usaremos también para el calentamiento del sustrato en el interior de biodigestor.

$$Q = 4 \frac{m^3}{h} \cdot \frac{1000 l}{1 m^3} \cdot \frac{1 h}{3600 s} = 1,11 \left(\frac{l}{s}\right)$$

Para el cálculo de la altura manométrica debemos usar la ecuación [28], en nuestro caso la altura geométrica vendrá determinada por la altura del biodigestor que es de 5 metros aproximadamente.

La suma de las pérdidas de carga vendrá dada por la expresión [29], en este caso para la longitud de la tubería tomaremos como recto el serpentín ya que la curvatura de esta tubería es mínima, por tanto dispondremos de una longitud de tubería de:

$$L_{\text{tubería}} = 418 \text{ m de serpentín} + 15 \text{ m de tubería recta} = 433 \text{ m}$$

Para la longitud equivalente tendremos en cuenta los elementos singulares instalados, que al igual que en las bombas anteriores tomaremos:

Elemento instalado	Número de elementos	longitud equivalente por accesorio	Longitud equivalente total
Válvula de retención	1	0,65	0,65 m
codo 90°	4	1,5	6,00 m
		Total	6,65 m

El coeficiente de fricción se calcula a partir de la fórmula de Blasius para régimen turbulento, ecuación [30]. Para ello debemos calcular el módulo de Reynolds, expresión [31], comenzaremos por tanto calculando primero la velocidad a través del caudal:

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{4 \cdot \frac{1}{3600}}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,0525^2} = 0,513 \left(\frac{m}{s}\right)$$

Tenemos por tanto:

$$Re = \frac{0,513 \cdot 0,0525 \cdot 980,45}{0,000434} = 60876$$

Confirmamos por tanto que nos encontramos en régimen turbulento y que podremos hacer uso de la expresión [30]:

$$f = \frac{0,316}{15219^{0,25}} = 0,0201$$

Aplicando los valores calculados a la expresión [29] tenemos:

$$\Sigma F = 0,0201 \cdot \frac{(433 + 6,65) \cdot 0,513^2}{2 \cdot 9,8 \cdot 0,0525} = 2,262 \text{ m} \approx 2,26 \text{ m}$$

Para el cálculo de la carga cinética usamos la ecuación:

$$Cc = \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{0,513^2}{2 \cdot 9,8} = 0,013 \text{ m}$$

Calculamos la altura manométrica sustituyendo en [23]:

$$H = 5 + 2,26 + 0,013 = 7,27 \text{ m}$$

La presión a suministrar por la bomba será la presión manométrica por un coeficiente de seguridad situado entre el 5% y el 50%, tomaremos el valor máximo del 50%, quedando:

$$H = 7,27 \cdot 1,5 = 10,91 \text{ m}$$

La potencia de la bomba, considerando un valor aceptable de rendimiento del 70%, queda, sustituyendo en la expresión [25]:

$$P_B = \frac{0,98 \cdot 1,11 \cdot 10,91}{75 \cdot 0,70} = 0,23 \text{ C.V.}$$

Pasamos este valor a kW para poderlo comparar posteriormente con la potencia generada en el proceso:

$$0,23 \text{ C.V.} \cdot \frac{1,36 \text{ C.V.}}{1 \text{ kW}} = 0,31 \text{ kW}$$

9. Cálculo del separador sólido-líquido

Según Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, la humedad del residuo deberá ser inferior al 65 % en peso, por tanto, debemos reducir la humedad del lodo extraído del biorreactor. Para ello usaremos un separador por rosca a presión, el cual según especificaciones del fabricante nos generará un digestado con una humedad del 30% en peso.

El tiempo que estará el equipo en funcionamiento lo calcularemos como:

$$t = \frac{V}{Q} \quad [33]$$

Donde

t: tiempo de funcionamiento diario (h/día)

V: volumen de lodos a tratar (m³/día)

Q: caudal de lodos de alimentación (m³/h)

Como hemos calculado anteriormente en el apartado 6 de este documento el caudal de lodos generado es de 6152,57 kg/día, si consideramos que la densidad apenas ha variado con respecto a la entrada tendremos:

$$6152,57 \frac{kg}{día} \cdot \frac{1 m^3}{1019 kg} = 6,04 \frac{m^3}{día}$$

La bomba que alimenta el separador será la misma que la del efluente con un caudal de $6,25 \cdot 10^{-3} m^3/s$, lo que supone:

$$6,25 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{s} \cdot \frac{3600 s}{1 h} = 22,5 \frac{m^3}{h}$$

Por tanto sustituyendo en [33], tenemos que:

$$t = \frac{6,04}{22,5} = 0,27 h$$

Bibliografía

Barrientos Barria R.A., Estudio técnico financiero de una planta generadora de electricidad a partir de purines.

Chohey, Nicholas, and Hicks, Tyler. Manual de cálculos de ingeniería química. México: McGraw-Hill Interamericana, 1986.

Flotats X, Campos E., Bonmatí A., Aprovechamiento energético de residuos ganaderos.

González Catalán J., Diseño de un biodigestor de dos etapas a escala laboratorio.

González Sánchez D., Padrón Arteaga I., Planta de digestión anaerobia de residuos porcinos.

Instituto canario de estadística: http://www.gobiernodecanarias.org/istac/temas_estadisticos/sectorprimario/agricultura/ganaderia/

Plan de biodigestión de purines, Ministerio de Medio ambiente, medio rural y marino: http://www.magrama.gob.es/es/ganaderia/temas/requisitos-y-condicionantes-de-la-produccion-ganadera/PLAN_BIODIGESTION_PURINES_63_tcm7-5932.pdf

Sodemasa S.A.U., Planta de tratamiento de purín en Valderrobres.

<http://www.fisicaeingenieria.es/resources/tuberias.pdf>

www.mecsegales.com

<http://www.2-g.com/es/>

Anexo II

Presupuesto

Índice

	Página
1. Estructuras de hormigón	2
2. Cubierta del biorreactor	2
3. Tapa del gasómetro	3
4. Bombas	3
5. Equipo de cogeneración	3
6. Separador	4
7. Tuberías	4
7.1. Tuberías de acero	4
7.2. Tuberías de polietileno	4
8. Total de costos de equipos	5
9. Balance energético de la planta	5
9.1. Generación de energía	5
9.2. Consumo de energía	6
9.3. Balance neto de energía anual	6
Bibliografía	7

1. Estructuras de hormigón

El precio del metro cúbico de movimiento de tierra con su correspondiente recubrimiento en hormigón armado de 30 cm de espesor es de aproximadamente 120 €/m³, este precio puede variar dependiendo del tipo de terreno.

En nuestro caso debemos construir tres tanques, lo que supondrá una inversión de:

Concepto	Cantidad	Precio por unidad	Presupuesto (€)
Tanque de almacenamiento (T-01) de 13 m ³ de hormigón armado	1	1300	1.300 €
Tanque de almacenamiento (Gasómetro) (T-02) de 335 m ³ de hormigón armado	1	33500	33.500 €
Biorreactor (R-01) de 103,5 m ³ de hormigón armado	1	103500	10.350 €
		Total	45.150 €

2. Cubierta del biorreactor

Para conseguir un ambiente anaerobio el reactor debe estar aislado del exterior, eso lo conseguimos mediante la instalación de una lamina de PVC reforzado, el precio de las láminas de PVC reforzado es de 7,00 €/m².

Si tenemos en cuenta que disponemos de un biorreactor de cubierta esférica de 4,9 metros de diámetro, necesitaremos una cantidad de lámina de PVC reforzado de:

$$A = \frac{\pi \cdot D^2}{2} = \frac{\pi \cdot 4,9^2}{2} = 37,71 \text{ m}^2 \approx 40 \text{ m}^2$$

Esto supondrá un coste de:

$$40 \text{ m}^2 \cdot 7,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 280 \text{ €}$$

3. Tapa del gasómetro

El gasómetro necesitara de una tapa flotante de acero inoxidable para que pueda adaptarse al volumen de gas que haya en su interior en cada momento, esta lamina será de 2 mm de espesor y su precio es de 37€/m², al igual que en el apartado anterior debemos antes calcular la superficie de la tapa teniendo en cuenta que en este caso es circular y con un diámetro de 7,60 metros, con lo cual nos queda:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 7,60^2 = 45,36 \text{ m}^2 \approx 46 \text{ m}^2$$

Esto supondrá un coste de:

$$46 \text{ m}^2 \cdot 37,00 \frac{\text{€}}{\text{m}^2} = 1.702 \text{ €}$$

4. Bombas

Las bombas utilizadas en la instalación serán 3 bombas, 2 para aguas sucias y una para el agua de calefacción al biorreactor, quedando;

Concepto	Cantidad	Precio por unidad	Presupuesto (€)
Bomba (P-01 y P-02) de 0,75 C.V. para aguas sucias	2	1200	2.400 €
Bomba intercambiador (P-03) de 0,33 C.V.	1	300	300 €
		Total	2.700 €

5. Equipo de cogeneración

El equipo de cogeneración tiene un precio de 42.300 €

6. Separador

El separador utilizado tiene un valor de 50.740 €

7. Tuberías

7.1. Tuberías de acero

Las tuberías de acero serán las utilizadas en las conexiones por las cuales circula el sustrato o el lodo y también la del serpentín. Por tanto debemos calcular la longitud total de esta tubería:

Conexión	de T-01 a R-01	de R-01 a S-01	De M-01 a R-01	Total
metros lineales de tubería	15 m	15 m	433 m	463 m

El precio de estas tuberías es de 8,00 €/metro lineal.

Esto supondrá un coste de:

$$463 \text{ m} \cdot 8,00 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 3.704 \text{ €}$$

7.2. Tuberías de polietileno

Las tuberías de acero serán las utilizadas en las conexiones por las cuales circula biogás. Por tanto debemos calcular la longitud total de esta tubería:

Conexión	de R-01 a T-02	De T-02 a M-01	Total
metros lineales de tubería	15 m	15 m	30 m

El precio de estas tuberías es de 3,60 €/metro lineal.

Esto supondrá un coste de:

$$30 \text{ m} \cdot 3,60 \frac{\text{€}}{\text{m}} = 108 \text{ €}$$

Por tanto el coste total de las tuberías usadas para las conexiones asciende a un total de:

$$3704 \text{ €} + 108 \text{ €} = 3.812 \text{ €}$$

8. Total de costos equipos

Concepto	Presupuesto
Estructuras de hormigón	45.150 €
Cubierta del biorreactor	280 €
Tapa del gasómetro	1.702 €
Bombas	2.700 €
Equipo de cogeneración	42.300 €
Separador	50.740 €
Tuberías	3.812 €
Total	146.684 €

9. Balance energético de la planta

9.1. Generación de energía

El equipo que produce energía es el de cogeneración, según los cálculos realizados en el anexo I dicha producción de energía es de 54,4 kW/día, lo que supone un total anual de:

$$54,4 \frac{\text{kW}}{\text{día}} \cdot 360 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 19.584 \frac{\text{kW}}{\text{año}}$$

9.2. Consumo de energía

Los equipos involucrados en el proceso de valorización que consumen energía son los siguientes:

Equipo	Tiempo de funcionamiento(h/día)	Potencia (kw)	Potencia diaria consumida (kW/día)
Bomba P-01	0,53	1,02	0,54
Bomba P-02	0,53	1,02	0,54
Bomba P-03	0,27	0,31	0,08
Separador	0,27	11	2,97
Total			4,13

Lo que supone un total anual de:

$$4,13 \frac{kW}{día} \cdot 360 \frac{día}{año} = 1488,56 \frac{kW}{año} \approx 1.489 \frac{kW}{año}$$

9.3. Balance neto de energía anual

$$19.584 \frac{kW}{año} - 1.489 \frac{kW}{año} = 18.095 \frac{kW}{año}$$

Teniendo en cuenta el precio de venta actual del kW producido por energías limpias, que es de 0,14 €/kW, este proceso generará un beneficio anual de:

$$18.095 \frac{kW}{año} \cdot 0,14 \frac{€}{kW} = 2.533,30 \frac{€}{año}$$

Bibliografía

<http://www.danosa.fr/danosa/CMSServlet?node=F114P&lng=1&site=1>

<http://www.construinfo.com/FICHAP.ASP?CODIGO1=UNIT&CODIGO2=MCG&pagi=3>

<http://www.energias-renovables.com/articulo/el-biogas-en-la-lona-con-el-20140224>

www.mecsegales.com

<http://www.2-g.com/es/>

http://www.rekalde.com/es_tubo_de_polietileno_alta_densidad_pe-100.aspx

Piscinas 7 islas S.L.

Anexo III
Fichas Técnicas

Índice

	Página
1. Bomba del influente	2
2. Bomba del efluente	2
3. Bomba del intercambiador	2
4. Separador	3
5. Equipo de cogeneración	3
Bibliografía	4

1. Bomba del influente

Identificación: P-01

Artículo: SC1-100

Tipo de bomba: monofásica

Material camisa: Acero inoxidable AISI-304

Material cuerpo: Hierro

Máximo paso de sólidos: 40 mm

Potencia: 0,75 C.V.

2. Bomba del efluente

Identificación: P-02

Artículo: SC1-100

Tipo de bomba: monofásica

Material camisa: Acero inoxidable AISI-304

Material cuerpo: Hierro

Máximo paso de sólidos: 40 mm

Potencia: 0,75 C.V.

3. Bomba del intercambiador

Identificación: P-03

Artículo: CEA 70/3

Tipo de bomba: centrífuga

Material cuerpo: Hierro

Máximo paso de sólidos: 40 mm

Potencia: 0,33 C.V.

Presión máxima de trabajo: 8 bar

4. Separador

Identificación: S-01

Artículo: MS 100

Potencia eléctrica: 11 kW

Tamiz: 0,50 mm

Tipo de separador: Presión

Eficiencia de secado: 30 % de humedad en sólidos

5. Equipo de cogeneración

Identificación: M-01

Artículo: 2G filius 104

Potencia eléctrica: 50 kW

Consumo de biogás al 60 % CH₄: 24 Nm³/h

Eficiencia eléctrica: 35,3 %

Velocidad de rotación del motor: 1500 rpm

Presión máxima de trabajo: 3 bar

Temperatura de salida de agua de calefacción: 88°C

Bibliografía

www.mecsegales.com

<http://www.2-g.com/es/>

www.salvadorescoda.com

Pliego de Condiciones

Índice

	Página
1. Pliego de condiciones	2
1.1 Disposiciones generales	2
2. Condiciones Facultativas	4
2.1. Dirección de obra	4
2.2. Inspección de las obras	5
2.3. Representante del contratista	5
2.4. Partes e informes	6
2.5. Ordenes al contratista	6
3. Materiales, aparatos y su procedencia	12
3.1. Condiciones que deben reunir los materiales de las obras civiles	12
3.2. Ejecución y control de las obras	16
4. Condiciones económicas	26
4.1. Principio general	26
4.2. Precios	28
4.3. Precio de ejecución material	30
4.4. Precio de contrata	30
4.5. Precios contradictorios	30
4.6. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas	30
4.7. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios	31
4.8. De la revisión de los precios contratados	31
4.9. Valoración y pago de los trabajos	32
4.10. Distintas formas de pago de la instalación y obra	37
4.11. Relaciones valoradas y certificaciones	38
4.12. Mejoras de obras libremente ejecutadas	39
4.13. Pago de trabajos presupuestados con partida de alzada	39
4.14. Valoración y pago de los trabajos	40
4.15. Indemnizaciones mutuas	41

1. Pliego de condiciones

1.1. Disposiciones generales

1.1.1. Objeto del pliego general

El presente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares tiene por objeto definir las obras, fijar las condiciones técnicas y económicas que han de regir en la realización de las obras del Proyecto:

“Valorización energética de purines por digestión anaerobia en una explotación porcina”

1.1.2. Documentos que definen la obra

El Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares establece la definición de las obras en cuanto a su naturaleza y características físicas.

1.1.3. Ámbito de aplicación

Las instrucciones del presente Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares se aplicarán a todas las obras necesarias que se definen en el Proyecto.

Además de los especificados del presente Pliego, serán de aplicación las disposiciones, normas y reglamentos, cuyas prescripciones, en cuanto puedan afectar a las obras objeto de este Pliego, quedan incorporadas a él formando parte integrante del mismo. En caso de

discrepancia entre algunas de estas normas, se adoptará la decisión del Ingeniero Director de la Obra.

Serán de aplicación de modo explícito las siguientes normas y disposiciones:

- Instrucciones del Instituto Nacional de Racionalización y Normalización (Normas UNE).
- Ley de Ordenación y Defensa en la Industria Nacional.
- Legislación sobre Seguridad e Higiene en el Trabajo.
- Normas MV del Ministerio de la Vivienda.
- Pliego de Prescripciones Técnicas para la recepción de cementos (RC-97).
- Instrucción de Hormigón Estructural, EHE de 1999.
- Instrucción para la fabricación y suministro de hormigón preparado EHPRE-72. Orden Ministerial del 5 de Mayo de 1972.
- Instrucción Eduardo Torroja, para estructura de acero I.E.M.-62.
- Norma del hormigón pretensado EP-93.
- Recomendaciones Internacionales Unificadas para el Cálculo y la Ejecución de las Obras de Hormigón Armado (C.E.B.).
- Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para tuberías de abastecimiento de agua (M.O.P. de Julio de 1974).
- Pliego general de Fabricación, transporte y montaje de tuberías de hormigón de la Asociación Técnica de Derivados del cemento (T.D.C.).
- Normas Sismorresistentes PGS-1. Decreto 3209/74 de 30 de Agosto.
- Pliego de Prescripciones Generales para Obras de Carreteras PG-3/75, aprobado por Orden Ministerial de 6 de Febrero de 1976.

- Reglamento electrotécnico de baja tensión e instrucciones reglamentarias. Decreto 842/2002 de 2 de Agosto.

- Normas INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial "Esteban Terradas") de la Comisión 17 sobre pinturas, barnices, etc.

- Recomendaciones y normas de la Organización Internacional de Normalización (I.S.O.).

- Plásticos. Tubos de poliéster reforzado con fibra de vidrio PRN 53-323.

Si alguna de las Prescripciones o Normas a la que se refieren los párrafos anteriores coincidieran de modo distinto en algún concepto, se entenderá como válida la más restrictiva.

2. Condiciones Facultativas

2.1. Dirección de obra

La propiedad designará al Técnico Director de las obras, que será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato y asumirá la representación de la Administración frente al Contratista, siéndole de aplicación lo dispuesto en el Reglamento General de Contratación.

Corresponde exclusivamente a la Dirección de obra la interpretación técnica del proyecto y la consiguiente expedición de órdenes complementarias, gráficas o escritas, para el desarrollo del mismo.

La Dirección de las obras podrá ordenar, antes de la ejecución de las mismas, las modificaciones de detalle del proyecto que crea oportunas, siempre que no alteren la líneas generales de éste, no excedan de la garantía técnica exigida y sean razonablemente

aconsejadas por eventualidades surgidas durante la ejecución de los trabajos, o por mejoras que se crea conveniente introducir.

Las reducciones de obras que puedan originarse serán aceptadas por el Contratista hasta el límite previsto en los casos de rescisión en la normativa de Contratación.

También corresponde a la Dirección de las obras determinar cuando, a instancias del Contratista, puedan sustituirse materiales de difícil adquisición por otros de utilización similar, aunque de distinta calidad o naturaleza, y fijar la alteración de precios unitarios que en tal caso estime razonable. En este sentido, el Contratista no podrá realizar la menor alteración en las partes o materiales determinados por el proyecto sin autorización escrita del Director de la obra.

2.2. Inspección de las obras

El Contratista proporcionará al Director, o a sus subalternos, toda clase de facilidades para los replanteos, reconocimientos, mediciones y pruebas o ensayos de materiales de todos los trabajos, con objeto de comprobar el cumplimiento de las condiciones establecidas en este Pliego de Prescripciones Técnicas, permitiendo y facilitando el acceso tanto a los documentos como a todas aquellas partes de las obras, incluso a las fábricas o talleres en que se produzcan materiales o se realicen trabajos para las obras, que la Dirección estime conveniente.

2.3. Representante del contratista

Una vez adjudicadas definitivamente las obras, el Contratista designara una persona que asuma la dirección de los trabajos que se ejecuten y que actúe como representante suyo ante la Administración a todos los efectos que se requieran durante la ejecución de las obras.

Previamente al nombramiento de su representante, el Contratista deberá someterlo a la aprobación de la Dirección.

Dicho representante deberá residir en un punto próximo a los trabajos, y no podrá ausentarse sin ponerlo en conocimiento de la Dirección Facultativa.

Como tal representante actuara un Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos o, en su defecto, un Ingeniero Técnico de Obras Públicas.

2.4. Partes e informes

El Contratista queda obligado a suscribir con su conformidad o reparos, los partes o informes establecidos para las obras, siempre que sea requerido para ello.

2.5. Ordenes al contratista

Las órdenes al Contratista serán dadas verbalmente o por escrito, estando éstas numeradas correlativamente. Aquel quedará obligado a firmar el recibo en el duplicado de la obra.

2.5.1. Diario de las obras

A partir de la orden de iniciación de las obras, se abrirá por parte de la Dirección Facultativa un libro en el que se hará constar, cada día de trabajo, las incidencias ocurridas en la obra, haciendo referencia expresa a las consultas o aclaraciones solicitadas por el Contratista, y las órdenes dadas a éste.

2.5.2. Plazo de ejecución

El plazo de ejecución de las obras se ha estimado en SEIS (6) MESES. Dentro del plazo de ejecución queda incluido el montaje de las instalaciones precisas para la realización de todos los trabajos.

El Contratista estará obligado a cumplir los plazos de ejecución parciales de alguna parte de la obra, siempre que así lo indique la Dirección de obra.

2.5.3. Alteración y/o limitaciones del programa de trabajo

Cuando el programa de trabajo se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado contradictoriamente por el Contratista y el Director, acompañándose la correspondiente propuesta de modificación para su tratamiento reglamentario.

2.5.4. Permisos y licencias

Los permisos y licencias que se requieran para el buen desarrollo y conclusión de la obra, tales como las correspondientes a acometidas de agua,. . . deberán ser gestionados por el Contratista, el cual también correrá con los costes que ello conlleve.

También será responsabilidad del Contratista la elaboración de los informes, memorias, proyectos, . . . que puedan exigir los organismos competentes para permitir el normal desarrollo de la obra.

En el caso de que la Asistencia Técnica o la Dirección en la ejecución de estas tareas, y siempre y cuando no sean determinados por el organismo responsable, ésta la ejercerá la Dirección de Obra o persona por ella designada.

2.5.5. Recepción y plazo de garantía

A la recepción de las obras a su terminación y a los efectos establecidos en el Real Decreto Legislativo 2/2000 de 16 de junio, 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 encontraran las obras en buen estado y con arreglo a las prescripciones previstas, el técnico designado por la Administración contratante y representante de ésta las dará por recibidas, levantándose la correspondiente acta y comenzando entonces el plazo de garantía.

Cuando las obras no se hallen en buen 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 hubiera efectuado, podrá concedérsele otro nuevo plazo improrrogable o declarar resuelto el contrato.

El plazo de garantía atendiendo a la naturaleza y complejidad de la obra no podrá ser inferior a UN AÑO, salvo casos excepcionales.

2.5.6. Liquidación

Dentro del plazo establecido por la Ley vigente a contar desde la fecha del acta de recepción deberá acordarse y ser notificada al contratista la liquidación correspondiente y abonársele el saldo resultante, en su caso.

Si se produjere demora en el pago del saldo de liquidación, el contratista tendrá derecho a percibir, incrementado en 1,5 puntos, el interés legal correspondiente.

2.5.7. Sanciones y penalizaciones

Las sanciones serán fijadas por la Dirección Facultativa y podrá variar, según la importancia de la infracción.

En el caso de que se exceda del plazo previsto para la ejecución de las obras, se aplicara una penalización.

Estas sanciones serán deducidas, a efectos de cobro, por parte de la Contrata, en las correspondientes Certificaciones.

2.5.8. Dirección, inspección y vigilancia de las obras

La Contrata de las obras deberá atender con solicitud todas cuantas ordenes dicte la Dirección Facultativa bien sea directamente o por medio de personal de inspección y vigilancia a sus órdenes. Toda propuesta de la Contrata que suponga modificaciones del

proyecto o de sus precios o condiciones, que no sean aceptadas por escrito por la Dirección Facultativa de la obra, presupone que ha sido rechazada.

2.5.9. Rescisión

Tanto en caso de rescisión, como en el de no terminarse las obras, por el incumplimiento de la Contrata, la Dirección Facultativa se reserva la facultad de incautarse de la totalidad o parte de los medios auxiliares empleados en las obras, siendo adquiridos por el precio que oportunamente hubieran sido tasados (siempre que su estado de conservación sea perfecto) por la Dirección Facultativa. Así mismo, el Contratista no podrá reclamar la fianza que deposito en el momento de la adjudicación.

2.5.10. Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor

Cuando sea necesario, por motivos imprevistos o por cualquier accidente, ampliar el Proyecto, no se interrumpirá los trabajos y se continuará según las instrucciones hechas por la Dirección facultativa en tanto se formula o tramita el Proyecto Reformado. El Contratista está obligado a realizar con su personal y sus materiales aquello que la Dirección de las obras disponga, anticipando por el momento este servicio, el importe del cual le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con el que se estipule.

2.5.11. Prórroga por causa de fuerza mayor

Si por causa de fuerza mayor e independiente de la voluntad del Contratista, este no pudiera empezar las obras, o debiera suspenderlas, o no le fuera posible acabar las en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada por el desempeño de la Contrata, previo informe favorable del Proyectista. Por esto, el Contratista expondrá en un escrito dirigido a la Dirección facultativa la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos

y el retardo que debido a esto se originará en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por la mencionada causa solicita.

2.5.12. Responsabilidad de la dirección facultativa en el retardo de la obra

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia órdenes de la Dirección facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito no se le hubiera proporcionado.

2.5.13. Trabajos defectuosos

El Contratista habrá de emplear materiales que cumplan las condiciones exigidas en las "Condiciones generales y particulares de índole técnica" del Pliego de Condiciones y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con aquello especificado también en el mencionado documento. Por esto, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que en los trabajos pudieran existir por su mala ejecución o por la deficiente calidad de los materiales empleados o aparatos colocados sin que le exonere de responsabilidad el control que es competencia de los Técnicos Proyectistas, ni tampoco el hecho que estos trabajos hayan sido valorados en las certificaciones parciales de obra, que siempre se entenderá abonadas a buena cuenta. Como consecuencia de lo expresado anteriormente, cuando el Técnico Proyectista detecte vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos colocados no reúnan las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos, o una vez finalizados, y antes de ser verificada la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean instaladas de nuevo de acuerdo con el que se haya contratado, y todo esto con cargo a la Contrata. Si la Contrata no estimara justa la decisión y se negara, se planteará la cuestión ante el Proyectista de la obra, que lo resolverá.

3. Materiales, aparatos y su procedencia

El Contratista tiene libertad de proveer se de los materiales y aparatos de todas clases en los puntos que él crea conveniente, excepto en los casos en que el Pliego Particular de Condiciones Técnicas preceptúe una procedencia determinada. Obligatoriamente, y antes de proceder a su utilización y aplicación, el Contratista deberá presentar al Técnico Proyectista una lista completa de los materiales y aparatos que haya de emplear en la cual se especifiquen todas las indicaciones sobre marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno.

3.1. Condiciones que deben reunir los materiales de las obras civiles

3.1.1. Procedencia de los materiales

En los siguientes artículos en los que se indica la procedencia de los materiales, es a título de orientación para el Contratista, quién no está obligado a utilizarla.

La procedencia de los materiales no liberará en ningún caso al Contratista de la obligación de que éstos cumplan las condiciones que se especifican en este Pliego, condiciones que habrán de comprobarse siempre, mediante los ensayos correspondientes.

La Propiedad no asume la responsabilidad de asegurar que el Contratista encuentre en el lugar de las obras los materiales adecuados en cantidad suficiente para las mismas, en el momento de su ejecución.

Los materiales procederán exclusivamente de los lugares, fábricas o marcas propuestas por el Contratista, y que hayan sido previamente aprobados por el Ingeniero Director de las Obras.

El Contratista deberá especialmente proponer los depósitos de materiales que piense utilizar para la extracción y producción de áridos con destino a los hormigones.

El Ingeniero Director de las obras dispondrá de 15 días de plazo para aceptar o rehusar estos lugares de extracción. Este plazo, se contará a partir del momento en que el Contratista haya realizado las calicatas suficientemente profundas y enviado las muestras que el Ingeniero Director de las obras haya solicitado, para poder apreciar la calidad de los materiales por el Contratista propuesto.

El Contratista vendrá obligado a eliminar, a su costa, los materiales que aparezcan durante los trabajos de explotación de las canteras, graveras o depósitos, previamente autorizados por el Ingeniero Director de las obras, cuya calidad sea inferior a lo exigido en cada caso.

3.1.2. Madera

Para que una madera sea apta para la construcción o para los trabajos de carpintería en general, deberá satisfacer las condiciones generales siguientes:

- Color uniforme
- Serán preferibles las más densas a las más ligeras, dada su mayor resistencia.
- No presentarán defectos y enfermedades.
- Tendrán sonido claro a la percusión y los anillos anuales, regularmente desarrollados.
- Deberán dar virutas flexibles, que no deben dejar penetrar el agua.
- La madera desecada contendrá entre el 10 y 15 % de su peso de agua; la madera seca tendrá un peso entre el 33 y el 35 % menos que la verde.

La que se destine a entibación de zanjas, apeos, cimbras, andamios y demás medios auxiliares no tendrá otra limitación que la de ser sana y con dimensiones suficientes para ofrecer la resistencia necesaria.

En general será tabla de dos y medio (2,5) centímetros, y en los paramentos vistos que el Director de las Obras determine será tabloncillo de cuatro y medio (4,5) a cinco centímetros (5,0).

La madera para carpintería de taller será en general de pino o castaño, salvo indicación en contra del Director de las Obras.

No obstante, el Ingeniero Director de las Obras, podrá en cada caso, establecer las condiciones de protección ignífuga o antipútrida que juzgase oportunas, si la permanencia o el carácter especial de las obras lo requieran.

3.1.3. Tapas de fundición

La fundición tendrá una resistencia mínima a la tracción de 3.000 Kg/cm² y su contenido máximo en carbono no excederá del 3'5%.

Las piezas tendrán composición uniforme y homogénea, estando exentas de sopladuras, porosidades, defectos de contracción, grietas, etc. Acusarán perfectamente todos los relieves del molde y se presentarán lisas y limpias. No podrán presentar reparación o soldadura alguna.

3.1.4. Ensayos y pruebas de los materiales

No se procederá al empleo de los materiales, sin que antes sean examinados y aceptados por el Ingeniero Director de las Obras, previa realización en su caso de las pruebas y ensayos previstos en este Pliego.

En caso de no conformidad con los resultados conseguidos, bien por el Contratista o por el Ingeniero Director de las Obras, se someterá la cuestión al Laboratorio Central de Ensayos de Materiales de Construcción dependiente del Ministerio de Obras Públicas, siendo obligatorio para ambas partes la aceptación de los resultados que obtengan y de las conclusiones que formule.

Todos los gastos de las pruebas y ensayos necesarios para definir las cualidades de los materiales de éste Pliego de Condiciones, serán abonados por el Contratista.

3.1.5. Caso en que los materiales no sean de recibo

Podrán desecharse todos aquellos materiales que no cumplan las condiciones exigidas en este Pliego de Condiciones, atendándose el Contratista a lo que por escrito le ordene el Ingeniero Director de las Obras.

3.1.6. Materiales generales

Los materiales utilizados en las obras de este proyecto y no analizados específicamente en este Capítulo, serán de buena calidad y con las características que exija su correcta utilización y servicio.

3.1.7. Materiales y aparatos defectuosos

Cuando los materiales, elementos instalados o aparatos no fueran de la calidad prescrita en este Pliego, o no tuvieran la preparación que se exige o, en fin, cuando la carencia de prescripciones formales del Pliego, se reconociera o se demostrara que no eran adecuados para el suyo objeto, la Dirección facultativa dará orden al Contratista de sustituir los por otras que satisfagan las condiciones o cumplan el objetivo al cual se destinan. Si el Contratista a la cabeza de quince (15) días de recibir órdenes que retire los materiales que no estén en condiciones no lo ha hecho, podrá hacerlo la Propiedad cargando los gastos a la Contrata. Si los materiales, elementos instalados o aparatos fueran defectuosos, pero aceptables a criterio de la Dirección facultativa, se recibirán, pero con la rebaja de precio que él determine, a no ser que el Contratista prefiera sustituir los por otras en condiciones.

3.2. Ejecución y control de las obras

3.2.1. Replanteo

Consiste en el conjunto de operaciones que es preciso efectuar para trasladar al terreno los datos que definen la obra.

El replanteo se hará en una o varias veces, y siempre de acuerdo con los datos del Proyecto y las órdenes del Ingeniero Director de las Obras; este replanteo deberá hacerse una vez limpia la zona de actuación.

El Contratista está obligado además de realizar, a suministrar todos los útiles y elementos auxiliares necesarios para este replanteo, con inclusión de los clavos y estacas. También correrá de su cuenta el personal necesario para el mismo. El Contratista vigilará, conservará y responderá de las estacas o señales, haciéndose directamente responsable de

cualquier desaparición o modificación de estos elementos, una vez aprobado el replanteo por el Ingeniero Director de las Obras.

Los trabajos se comenzarán trazándose las líneas principales que habrán de servir de base para trazar los ejes de zanjas, muros, pilares, etc., estos ejes se materializarán con hilos que queden invariables durante la marcha de la obra. Se determinarán los perfiles del terreno que sean necesarios para obtener exactamente la cantidad de tierras a desmontar o a rellenar, marcándose las alineaciones y rasantes en los puntos necesarios para que pueda el Constructor realizar los trabajos con arreglo a los mismos.

Del resultado final del replanteo se levantará un acta que firmarán por triplicado el Ingeniero Director de las Obras y el Contratista.

Se concederá al Contratista un plazo de siete días, a contar desde la fecha del acta de replanteo, para que dentro del mismo formule las observaciones que estime oportunas. Transcurrido el plazo citado, toda reclamación será automáticamente rechazada.

3.2.2. Replanteo de detalle de las obras

El Ingeniero Director aprobará los replanteos de detalle necesarios para la ejecución de las obras, y suministrará al Contratista toda la información que se precise para que aquellos puedan ser realizados.

El Contratista deberá proveer, a su costa, todos los materiales, equipos y mano de obra necesarios para efectuar los citados replanteos y determinar los puntos de control o de referencia que se requieran.

3.2.3. Desbroce del terreno

El desbroce del terreno si no se incluye como unidad de obra, se considerará incluido en la excavación de desmonte de la parcela.

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

Los materiales no combustibles podrán ser utilizados por el Contratista, en la forma y en los lugares que señale el citado Ingeniero.

3.2.4. Excavaciones y desmontes

3.2.4.1. Excavación en roca y excavación normal

La excavación en roca comprende toda la excavación correspondiente a masas de roca, depósitos estratificados suficientemente cementados y la de todos aquellos materiales que presenten características de roca maciza. A efectos prácticos y de abono de la unidad, sólo se considerará excavación en roca aquella que requiera empleo continuo de rompedor mecánico, una vez demostrado fehacientemente la imposibilidad de ser efectuada con cualquier otro tipo de maquinaria, ni siquiera con tractor de 300 CV de potencia dotado de ripper.

La demolición de hormigón con martillo rompedor, se considerará, a efectos de este Pliego, como excavación en roca.

La excavación normal comprende la excavación de todos los restantes tipos de terreno, que puedan ser removidos con la utilización de equipos mecánicos más o menos pesados y que por lo tanto no están incluidos en la clasificación anterior.

3.2.4.2. *Excavación en desmonte*

Una vez terminadas las operaciones de desbroce del terreno se iniciarán las obras de excavación, ajustándose a las alineaciones, pendientes, dimensiones y demás replanteos definitivos, y a lo que el particular ordene el Ingeniero Director.

El Contratista deberá notificar al Ingeniero Director con antelación suficiente al comienzo de la excavación a fin de que puedan ser tomadas las secciones transversales del terreno original.

a) **Excesos:** Toda la excavación realizada por conveniencia del Contratista o excavación realizada en exceso sobre los perfiles prescritos por cualquier razón, excepto si fuese ordenado por el Ingeniero Director, y sea o no debido a defectos de ejecución, será a expensas del Contratista con la condición de que si excede en taludes tendrá que seguir hasta la superficie del terreno con la pendiente prescrita para no dejar huecos en los mismos.

b) **Drenaje:** El Contratista ejecutará cuantas zanjas de desagüe sean necesarias, para evitar que las aguas de lluvia o las que broten en el terreno se almacenen en las excavaciones. Si fuera necesario establecer agotamientos, éstos no serán de cuenta del Contratista cualquiera que sea su volumen, excepto que para alguna unidad determinada se indique específicamente en el presente Pliego.

c) **Tierra vegetal:** La tierra vegetal que se encuentre en las excavaciones y que no se hubiera extraído en el desbroce, se removerá salvo prescripciones en contrario del Ingeniero Director, y se acopiará para su utilización posterior en protección de taludes o superficies erosionables, o donde ordene el citado Ingeniero.

En cualquier caso, la tierra vegetal extraída se mantendrá separada del resto de los productos excavados, cuando éstos sean utilizados para formación de terraplenes.

d) **Utilización de productos excavados:** Todos los materiales que se obtengan de la excavación y sean aptos para la formación de terraplenes y rellenos, se transportarán directamente a las zonas de utilización o a las que, en su defecto, señale el Ingeniero Director.

En este caso se amontonará ordenadamente a distancia suficiente de los bordes de los taludes, con objeto de evitar sobrecargas e impedir deslizamientos o derrumbamientos. Los productos sobrantes o no utilizables, se transportarán a lugares convenientes (caballeros) elegidos por el Ingeniero Director, debiendo ser convenientemente extendidos. En ningún caso se desechará algún material excavado sin previa autorización del citado Ingeniero.

3.2.4.3. Excavación para emplazamiento y cimientos

Se considera de aplicación lo preceptuado en el apartado anterior, con los complementos siguientes:

3.2.4.4. Entibaciones

Si fuese indispensable, para excavar excesos de excavación inadmisibles, podrá el Ingeniero Director prescribir las entibaciones correspondientes que el Contratista habrá de emplear.

Por otra parte, el Contratista está obligado al empleo de las entibaciones necesarias para evitar desprendimientos, sin esperar a indicaciones concretas del Ingeniero Director, siempre que la calidad de los terrenos o la profundidad de la excavación lo aconseje; siendo de su plena responsabilidad la retirada de los desprendimientos que pudieran producirse y los rellenos consiguientes, así como los posibles accidentes laborales que por incumplimiento de lo preceptuado pudieran producirse.

3.2.4.5. Agotamientos

El Contratista queda obligado a verificar por su cuenta todos los agotamientos y desviaciones de las aguas, de cualquier procedencia que fueren, que pudieran encontrarse en las zanjas y terrenos en que las fábricas hayan de existir; así como a desviar las corrientes y aguas pluviales que pudieran presentarse, el importe de estos trabajos y operaciones no se halla comprendido en los precios adoptados para distintas fábricas y excavaciones cualquiera que sea la dificultad y el gasto que representen los agotamientos o las operaciones y trabajos a que de lugar la presencia de humedades o aguas en el terreno en que se levantan las obras.

3.2.4.6. *Excavación en zanja*

Se considera de aplicación lo preceptuado en los apartados anteriores con los complementos siguientes:

a) Trazado: Se efectuarán las zanjas con las alineaciones y desniveles, replanteos definitivos o con las modificaciones que en su caso indique el Ingeniero Director.

b) Ejecución: La apertura de la zanja podrá efectuarse por medios mecánicos o manuales, pero en el primer caso, el fondo de la zanja se refinará a mano.

La profundidad de las zanjas será la que se señale el Ingeniero Director, debiendo resultar protegidas de los efectos del tráfico y cargas exteriores, así como preservadas de las variaciones de temperatura del medio ambiente.

No se permitirá tener la zanja abierta a su rasante final más de ocho días antes de la colocación de la tubería. En caso de terrenos arcillosos o margosos de fácil meteorización, si fuese absolutamente imprescindible efectuar con más plazo la apertura de las zanjas, se deberán dejar sin excavar unos veinte (20) centímetros sobre la rasante de la solera para realizar su acabado en plazo inferior al citado.

Se excavará hasta la línea de rasante siempre que el terreno sea uniforme, si quedan al descubierto piedras, cimentaciones, rocas, etc., será necesario excavar por debajo de la rasante para efectuar un relleno posterior.

Normalmente esta excavación suplementaria tendrá de quince a treinta (15 a 30) centímetros de espesor.

Cuando por su Naturaleza, y a juicio del Ingeniero Director, el terreno a nivel de la rasante del fondo no asegure la completa estabilidad de la obra que ha de incidir sobre ella deberá procederse a su compactación por los procedimientos que se indiquen.

El material procedente de la excavación se apilará lo suficientemente alejado del borde de las zanjas para evitar el desmoronamiento de éstas o que el desprendimiento del mismo pueda poner en peligro a los trabajadores. El material sobrante se transportará a vertedero autorizado por el Ingeniero Director.

c) Agotamiento de las excavaciones en zanjas y obras de fábrica: En el caso de que la zanja cortase el nivel freático y la cuantía de las aportaciones en el interior de las mismas hiciese necesario el agotamiento, se procederá a esta operación que se mantendrá durante el tiempo preciso para la adecuada terminación de la unidad de obra para la que había sido abierta.

Se planteará exclusivamente el ancho preciso de la misma. Los productos aprovechables de la excavación se acopiarán en las proximidades de las zanjas.

No se levantarán los apeos establecidos sin orden del Ingeniero Encargado.

Otro tanto se hará en relación con las entibaciones.

3.2.4.7. Terraplenes

Los suelos empleados en terraplenes deberán cumplir lo establecido en el artículo 330 del PG-3.

En coronación deberán emplearse suelos adecuados, y la densidad que se alcance en la compactación no será inferior a la máxima obtenida en el ensayo Próctor normal.

En el resto del terraplén podrán usarse suelos tolerables, siendo la densidad exigida al menos del 95% de la máxima obtenida en el ensayo próctor normal.

En todos los casos se procurará ejecutarlos aprovechando los productos de la excavación, previa autorización expresa del Ingeniero Director. Si ello no fuera posible, se deberá acudir a tierras de préstamos que cumplan las condiciones arriba indicadas.

3.2.4.8. Relleno de zanjas

El relleno de zanjas se hará con productos seleccionados de la excavación pero si éstos no son aptos, a juicio del Ingeniero Director, para el adecuado relleno y compactación, el Contratista deberá efectuarlo con tierras de préstamos sin derecho a indemnización alguna.

No serán rellenadas las zanjas hasta que se hayan realizado todas las pruebas de recepción y lo autorice el Ingeniero Director.

Los rellenos se realizarán cuidadosamente por tongadas no mayores a quince (15 cm) centímetros de espesor, las cuales se compactarán con mecanismos adecuados, manuales o mecánicos.

3.2.4.9. Morteros

La arena cumplirá las condiciones señaladas en la Instrucción para el proyecto y la ejecución de obras de hormigón en masa o armado.

Las indicaciones en los morteros, será, salvo indicación en contra del Ingeniero Director, las siguientes:

- Mortero para las fábricas de ladrillo o mampostería ordinaria: trescientos cincuenta (350) kilogramos de cemento P-350 por metro cúbico de mortero.

El amasado será mecánico, y cuando así no se pueda, se confeccionará sobre superficie impermeable y lisa. Se mezclará la arena con el cemento antes de verter el agua, continuando el batido, después de echar éste en la forma y cantidad necesaria para obtener una pasta homogénea, de color y consistencia uniforme, sin grumos. La cantidad de agua se determinará previamente según lo requieran los componentes, el estado de la atmósfera y el destino del mortero. La consistencia de éste será blanda, pero sin que al amasar una bola con la mano refluya entre los dedos.

Si se teme la aparición de sales fluorescentes, se adicionará cloruro cálcico, con la proporción de un (1) kilogramo por cada cincuenta (50) kilogramos de cemento. La adición de cloruro cálcico será especialmente recomendable en invierno, como protección contra el hielo.

3.2.4.10. Tubería de presión

a) Montaje: Los tubos se montarán aproximando el que se debe montar al otro, de forma que su eje coincida con el anterior.

Las pendientes en cada tramo serán uniformes. En las alineaciones no se cometerá un error entre ejes de más de un 5% (cinco por ciento).

b) Prueba: Antes de ejecutar la prueba se tendrá especial interés en comprobar que:

La tubería que vaya ir enterrada posteriormente estará apoyada sobre la capa de asiento, espesor mínimo de diez (10) centímetros, los bloques de anclaje deben estar bien contruidos y en buenas condiciones de resistencia.

Las piezas especiales estarán perfectamente apoyadas y ancladas y el relleno de la zanja estará a una altura mínima por encima del eje de la tubería, de sesenta (60) centímetros, dejando las uniones destapadas para comprobación de las mismas como probable punto de fuga.

El tramo a probar estará lleno de agua, por lo menos 24 horas antes de comenzar las pruebas de presión. Se procurará que todo el tramo expulse el aire que pueda contener.

La presión interior de prueba de la tubería será de cuarenta (40) por ciento superior a la presión máxima de trabajo, El ensayo se realiza haciendo subir lentamente la presión de forma que el incremento de la misma no supere un (1) kilogramo por centímetro cuadrado y minuto. Una vez obtenida la presión, se parará durante treinta (30) minutos y si considerará satisfactoria cuando durante este tiempo el manómetro no acuse un descenso superior a raíz cuadrada de P partido por cinco ($\sqrt{P/5}$).

c) Relleno y tapado: Una vez realizada la prueba y comprobado que todos los elementos de las instalaciones están en perfectas condiciones de trabajo, se procederá al tapado del tramo de tubería que va enterrado. Se procurará al tapado del tramo de tubería que va enterrado. Se procurará que todas las capas de tierra estén exentas de piedras, que puedan ocasionar la ruptura de tuberías.

Se procederá a una compactación de tongadas de diez (10) centímetros, con especial cuidado en el retacado de la tubería por su parte superior y laterales.

4. Condiciones económicas

4.1. Principio general

Todos los que intervienen en el proceso de construcción tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades acreditadas por su correcta actuación de acuerdo con las condiciones contractualmente establecidas. La propiedad, el contratista y, en su caso, los técnicos pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al desempeño puntual de sus obligaciones de pago.

4.1.1. Fianzas

El Contratista prestará fianza de acuerdo con algunos de los procedimientos siguientes, según se estipule:

- a) Depósito previo, en metálico o valores, o aval bancario, por importe entre el 3 por 100 y 10 por 100 del precio total de contrata.
- b) Mediante retención a las certificaciones parciales o pagos por anticipado en la misma proporción.

4.1.2. Fianza provisional

En el supuesto de que la obra se adjudique por subasta pública, el depósito provisional para tomar parte se especificará en el anuncio de la mencionada subasta y su cuantía será de encomendero, y exceptuando estipulación distinta en el Pliego de Condiciones particulares vigente en la obra, de un tres por ciento (3 por 100) como mínimo, del total del presupuesto de contrata. El Contratista al cual se haya adjudicado la ejecución de una obra o servicio por la misma, deberá depositar en el punto y plazo fijados al anuncio de la subasta o el que se determine en el Pliego de Condiciones particulares del Proyecto, la fianza definitiva que se señale y, en su defecto, su importe será del diez por ciento (10 por 100) de la cantidad por la cual se haga la adjudicación de la obra, fianza que puede constituirse en cualquiera de las formas especificadas en el apartado anterior. El plazo señalado en el párrafo anterior, y quitado condición expresa establecida en el Pliego de Condiciones Particulares, no excederá de treinta días naturales a partir de la fecha en que sea comunicada la adjudicación y en este plazo deberá presentar el adjudicatario la carta de pago o recibo que acredite la constitución de la fianza a la cual se refiere el mismo párrafo. El incumplimiento de este requisito dará lugar a que se declare nula la adjudicación, y el adjudicatario perderá el depósito provisional que hubiera hecho por tomar parte en la subasta.

4.1.3. Ejecución de trabajos con cargo a la fianza

Si el Contratista se negara a hacer por su cuenta los trabajos necesarios por ultimar la obra en las condiciones contratadas, la Dirección facultativa, en nombre y representación del Propietario, los ordenará ejecutar a un tercero o, podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a las cuales tenga derecho el propietario, en el supuesto de que el importe de la fianza no fuera suficiente para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fueran de recepción.

4.1.4. De su devolución en general

La fianza retenida será devuelta al Contratista en un plazo que no exceda treinta (30) días una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. La propiedad podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y saldo de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros, subcontratas... etc.

4.1.4.1. Devolución de la fianza en el supuesto de que se hagan recepciones parciales

Si la propiedad, con la conformidad de la Dirección facultativa, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que le sea devuelta la parte proporcional de la fianza.

4.2. Precios

Composición de los precios unitarios:

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra es el resultado de sumar los costes directos, los indirectos, los gastos generales y el beneficio industrial.

4.2.1. Costes directos

a) La mano de obra, con sus pluses, cargas y seguros sociales, que intervengan directamente en la ejecución de la unidad de obra.

b) Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que queden integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.

c) Los equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene para la prevención y protección de accidentes y enfermedades profesionales.

d) Los gastos de personal, combustible, energía, etc. que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalación utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.

e) Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria, instalación, sistemas y equipos anteriormente citados.

4.2.2. Costes indirectos

Los gastos instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, talleres, laboratorios, seguros, etc., los personales técnicos y administrativos adscritos exclusivamente a la obra y los imprevistos. Todos estos gastos, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos.

4.2.3. Gastos generales

Los gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales y tasas de la administración, legalmente establecidas. Se cifrarán como un porcentaje de la suma de los costes directos e indirectos (este porcentaje se establece entre un 13 por 100 y un 17 por 100).

4.2.4. Beneficio industrial

El beneficio industrial del Contratista se establece en el 6 por 100 sobre la suma de las partidas anteriores.

4.3. Precio de ejecución material

Se denominará Precio de Ejecución material el resultado obtenido por la suma de los anteriores conceptos excepto el Beneficio Industrial.

4.4. Precio de contrata

El precio de Contrata es la suma de los costes directos, los indirectos, los Gastos Generales y el Beneficio Industrial. El IVA gira sobre esta suma, pero no integra el precio.

4.5. Precios contradictorios

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad mediante el Arquitecto decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando haga falta afrontar alguna circunstancia imprevista. El Contratista estará obligado a efectuar los cambios. Si no hay acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre la dirección facultativa y el Contratista antes de empezar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el Pliego de Condiciones Particulares. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de utilización más frecuente en la localidad. Los contradictorios que hubiera se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

4.6. Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas

Si el Contratista antes de la firma del contrato, no hubiera hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de

los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras (con referencia a Facultativas).

4.7. Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios

En caso alguno podrá alegar el Contratista los usos y costumbres del país respecto a la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas, se respetará aquello previsto en primer lugar, al Pliego General de Condiciones Técnicas, y en segundo lugar, al Pliego General de Condiciones particulares.

4.8. De la revisión de los precios contratados

Si se contratan obras por su cuenta y riesgo, no se admitirá la revisión de los precios en cuanto que el incremento no llegue, en la suma de las unidades que faltan por realizar de acuerdo con el Calendario, a un montante superior al tres por 100 (3 por 100) del importe total del presupuesto de Contrato. En caso de producirse variaciones en alza superiores a este porcentaje, se efectuará la revisión correspondiente de acuerdo con la fórmula establecida en el Pliego de Condiciones Particulares, recibiendo el Contratista la diferencia en más que resulte por la variación del IPC superior al 3 por 100. No habrá revisión de precios de las unidades que puedan quedar fuera de los plazos fijados en el Calendario de la oferta.

4.9. Valoración y pago de los trabajos

4.9.1. Excavaciones a cielo abierto

Todas las excavaciones a cielo abierto se abonarán por el volumen obtenido mediante la comparación de los perfiles tomados directamente del terreno antes de iniciar las excavaciones y una vez terminadas estas, y aplicando a dicho volumen el precio correspondiente, cualquiera que sea la naturaleza del terreno y el destino que se dé a los productos. No serán de abono los excesos de excavación en las condiciones establecidas en el artículo correspondiente el presente Pliego.

Las distancias de transporte de productos de excavación que figuran en la Justificación de Precios del Proyecto, no podrán ser modificados por razón alguna y por lo tanto, el precio total que figura en el Cuadro de Precios, no sufrirá modificación cualquiera que resulte ser esa distancia en cualquier fase de obra, ni por razón puramente de recorrido, ni por razón de pendiente en las rampas de acceso a vertedero.

Entran en los precios de las excavaciones toda clase de protecciones necesarias para evitar daños a las obras ejecutadas y a cualquier instalación de la Administración o de terceros, así como todas las medidas de seguridad necesaria o conveniente, a juicio del Ingeniero Director de las Obras, para evitar riesgos al personal. Asimismo en los precios de excavaciones con agotamiento entran los gastos por ataguamiento y desvío.

Todo exceso de excavación sobre los límites marcados el Ingeniero Director de las Obras no será abonado al Contratista, el cual está obligado a rellenar a su costa, el sobrancho de excavación con la clase de obra de fábrica que el Ingeniero Director de las Obras ordene, excepto en el caso en que a juicio de dicho Ingeniero el sobrancho se haya producido por desprendimientos inevitables.

En este caso el volumen del sobreancho se abonará al precio establecido en el Cuadro de Precios, para retirada de escombros de desprendimientos inevitables. Sin embargo, no serán de abono en ningún caso los sobreanchos originados por defectos o faltas de cuidado, en la ejecución o replanteo, y especialmente en la disposición y carga de los barrenos, a juicio exclusivo del Ingeniero Director de las Obras.

Tampoco serán de abono los sobreanchos, cualquiera que sea su origen, de magnitud inferior a cuatrocientos litros por metro cuadrado (400 l/m²) de superficie terminada, tomando zonas de cincuenta metros cuadrados (50 m²) de superficie de excavación.

Análogamente, en los precios de la excavación se consideran incluidos los gastos de las siguientes operaciones: establecimiento de barandillas y otros medios de protección; la instalación de señales de peligro, tanto de día como de noche; el apuntalamiento de edificaciones vecinas, si fuera necesario y el aseo de conducciones de agua, electricidad, teléfono y otros servicios que se descubran al ejecutar las excavaciones. La reposición de estos servicios, si se interrumpen será también de cuenta del Contratista.

4.9.2. Terraplén

Se medirá y abonará por los metros cúbicos realmente extendidos y compactados medidos por diferencia entre los perfiles finales. Sólo se abonarán volúmenes entre perfiles completamente terminados y compactados. El precio señalado para esta unidad, comprende el suministro, transporte, manipulación y empleo de todos los materiales, maquinaria y mano de obra, necesarios para su ejecución, e incluye la limpieza y desbroce de toda clase de vegetación, el extendido de las tierras en tongadas, su humectación y compactación, refino posterior, así como cuantas necesidades circunstanciales se requieran para que la obra realizada sea aprobada por la Administración.

4.9.3. Rellenos

Cuando los rellenos o terraplenes se hayan originado como depósitos de los productos de excavación, no serán de abono, ya que sus gastos están incluidos en los precios de excavación, excepto los originados por la consolidación artificial si esta se exigiese.

Únicamente serán de abono los rellenos y terraplenes cuyos precios figuren en el Cuadro de Precios y de acuerdo con las prescripciones de este Pliego. En estos casos se abonarán por los volúmenes que resulten de la comparación de los perfiles transversales del terreno antes y después de realizados los trabajos. En los precios están incluidos todas las operaciones necesarias para formar los terraplenes, así como, el refinado de los taludes y la consolidación.

No serán de abono los rellenos que ocupen los huecos originados por exceso de excavación respecto de los límites definidos para cada tipo de terreno, ni el transporte a pie de obra y ulterior transporte a vertedero del material que no haya resultado utilizable. Tampoco será abonable la carga, transporte y vertido a cualquier distancia de los productos de la excavación que no hayan sido empleados en el relleno de las zanjas.

4.9.4. Afirmado de caminos

El afirmado de los caminos se abonará a los precios del Proyecto, midiéndose por volúmenes los materiales empleados en sub-base y base del firme, y considerando la superficie para el doble tratamiento superficial. En el precio de esta última unidad va incluido el importe del riego de imprimación que pueda precisarse, según disponga el Ingeniero Director y de acuerdo con lo previsto en el presente Pliego.

4.9.5. Mortero de cemento

El mortero que se emplea en las fábricas de cualquier tipo se considerará incluido en el precio de esta unidad y por consiguiente no será de abono especial.

El mortero empleado en enfoscados o enlucidos se medirá por metros cuadrados (m²) aplicándose el precio comprendido en el Cuadro de Precios, incluyéndose en este precio todos los materiales, mano de obra y equipos necesarios para la completa terminación de la unidad.

4.9.6. Tubería de presión

Las tuberías de presión se medirán a efectos de abono directamente sobre la tubería instalada y según el eje de la misma, sin descontar nada por las juntas, válvulas, ventosas y piezas accesorias.

Si la sección de tubería colocada fuera distinta a la del Proyecto, se abonará en el precio de la tubería a la que suple con equivalencia hidráulica y que figure en los Cuadros de Precios del Proyecto.

El precio comprende además del suministro y colocación de los tubos, los materiales para la formación de las juntas, acoplamientos de válvulas, ventosas y derivaciones necesarias a juicio del Ingeniero Director de la Obra.

El precio incluye también los gastos de las pruebas de presión y estanqueidad.

4.9.7. Arqueta o pozo

Las arquetas y pozos se medirán y abonarán por las unidades realmente ejecutadas y totalmente terminadas.

El precio señalado para esta unidad en los Cuadros de Precios comprenderá el suministro, manipulación y empleo de todos los materiales, maquinaria y mano de obra necesarios para su ejecución, así como cuantas necesidades circunstanciales se requieran para que la obra realizada sea aprobada por la Administración.

4.9.8. Pavimento de solería

El solado de solería se abonará y se medirá por los metros cuadrados (m²) realmente colocados, medidos sobre el terreno.

El precio señalado para esta unidad en los Cuadros de Precios comprenderá el suministro, manipulación y empleo de todos los materiales, maquinaria y mano de obra necesarios para su ejecución, así como cuantas necesidades circunstanciales se requieran para que la obra realizada sea aprobada por la Administración.

4.9.9. Acopios

A solicitud de la Contrata, son abonables a los precios de material a pie de obra, que figuren en el Proyecto, todos aquellos materiales que, ni por la acción de los agentes exteriores, ni por cualquier imprevisto, puedan sufrir daño o modificación de las condiciones que deban cumplir.

Para la valoración, se tomará sólo el porcentaje que establezca el Ingeniero Director de las Obras, en función del riesgo de deterioro. Este porcentaje no superará el 75%.

Para realizar dicho abono será necesaria la constitución del correspondiente aval, de acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Contratación.

4.10. Distintas formas de pago de la instalación y obra

Según la modalidad elegida para la contratación del proyecto exceptuando que en el Pliego Particular de Condiciones económicas se preceptúe otra cosa, el abono de los trabajos se efectuará así:

1. Tipo fijo o alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso al importe de la baja efectuada por el adjudicatario.
2. Tipo fijo o alzado por unidad de obra, el precio invariable del cual se haya fijado por adelantado, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas. Previa medición y aplicando al total de las unidades diversas de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado por adelantado por cada una de ellas, se abonará al Contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados de acuerdo con los documentos que constituyen el Proyecto, los cuales servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.
3. Variable por unidad de obra, según las condiciones en qué se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes de la Dirección facultativa. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.
4. Por listas de jornales y recibos de materiales autorizados en la forma que el presente "Pliego General de Condiciones económicas" determina.
5. Por horas de trabajo, ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato.

4.11. Relaciones valoradas y certificaciones

En cada una de las épocas o fechas que se fijen en el contrato o en los "Pliegos de Condiciones Particulares" que rijan en la obra, formará el Contratista una relación valorada de las obras ejecutadas durante los plazos previstos, según la medición que habrá practicado la Dirección facultativa. El trabajo ejecutado por el Contratista en las condiciones preestablecidas, se valorará aplicando al resultado de la medición general, cúbica, superficial, lineal, ponderal o numeral correspondiente para cada unidad de obra, los precios señalados en el presupuesto para cada una de ellas, teniendo presente además aquello establecido en el presente "Pliego General de Condiciones económicas" respecto a mejoras o sustituciones de materiales o a las obras accesorias y especiales, etc.

Al Contratista, que podrá presenciar las mediciones necesarias por extender esta relación, la Dirección facultativa le facilitará los datos correspondientes de la relación valorada, acompañando las de una nota de envío, al objeto que, dentro del plazo de (10) días a partir de la fecha de recepción de esta nota, el Contratista pueda examinarlas y volverlas firmadas con su conformidad o hacer, de lo contrario, las observaciones o reclamaciones que considere oportunas. Dentro de los diez (10) días siguientes a su recepción, la Dirección facultativa aceptará o rehusará las reclamaciones del Contratista si fueran, dando le cuenta de su resolución y pudiendo el Contratista, en el segundo caso, acudir ante el Propietario contra la resolución de la Dirección facultativa en la forma prevista en los "Pliegos Generales de Condiciones Facultativas y Legales".

Tomando como base la relación valorada indicada en el párrafo anterior, la Dirección facultativa expedirá la certificación de las obras ejecutadas. Del importe se deducirá el tanto por ciento que para la constitución de la fianza se haya preestablecido.

El material almacenado a pie de obra por indicación expresa y por escrito del Propietario, podrá certificar se hasta el noventa por ciento (90 por 100) de su importe, a los precios que figuran en los documentos del Proyecto, sin afectar los del tanto por ciento de Contrata. Las certificaciones se remitirán al Propietario, dentro del mes siguiente al periodo al cual se refieren, y tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetos a las rectificaciones y variaciones que se derivan de la liquidación final, no suponiendo tampoco estas certificaciones ni aprobación ni recepción de las obras que comprenden. Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo al cual la valoración se refiere. En caso de que la Dirección facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán en su origen.

4.12. Mejoras de obras libremente ejecutadas

Cuando el Contratista, incluido con autorización de la Dirección facultativa, utilice materiales de preparación más esmerada o de mejor calidad que el señalado en el Proyecto o sustituyera una clase de fábrica por otra de precio más alto, o en general introdujera en la obra sin pedirle, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a criterio del Técnico Director, no tendrá derecho, no obstante, más que al abono del que pudiera corresponder en el supuesto de que hubiera construido la obra con estricto sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

4.13. Pago de trabajos presupuestados con partida de alzada

Exceptuando el preceptuado en el "Pliego de Condiciones Particulares de índole económica", vigente en la obra, el abono de los trabajos presupuestados en partida alzada, se efectuará de acuerdo con el procedimiento que corresponda entre los que a continuación se expresan:

a) Si hay precios contratados para unidades de obra iguales, las presupuestadas mediante partidaalzada, se abonarán previa medición y aplicación del precio establecido.

b) Si hay precios contratados para unidades de obra similares, se establecerán precios contradictorios para las unidades con partidaalzada, deducidos de los similares contratados.

c) Si no hay precios contratados para unidades de obra iguales o similares, la partidaalzada se abonará íntegramente al Contratista, exceptuando el caso que en el Presupuesto de la obra se exprese que el importe de esta partida se debe justificar, en este caso, el Técnico Director indicará al Contratista y con anterioridad a la ejecución, el procedimiento que se debe seguir por traer esta cuenta que, en realidad será de administración, valorando los materiales y jornales a los precios que figuran en el Presupuesto aprobado o, en su defecto, a los que anteriormente a la ejecución convengan ambas partes, incrementando se el importe total con el porcentaje que se fije en el Pliego de Condiciones Particulares en concepto de Gastos Generales y Beneficio Industrial del Contratista.

4.14. Valoración y pago de los trabajos

Cuando hicieran falta efectuar trabajos de cualquier índole especial u ordinaria, que por no haber sido contratados no fueran por cuenta del Contratista, y si no fueran contratados con tercera persona, el Contratista tendrá la obligación de hacer los y de pagar los gastos de toda clase que ocasionen, y le serán abonados por el Propietario por separado de la Contrata.

Además de reintegrar mensualmente estos gastos al Contratista, se le abonará junto con ellos el tanto por ciento del importe total que, en su caso, se especifique en el Pliego de Condiciones Particulares.

4.15. Indemnizaciones mutuas

Importe de la indemnización por retardo no justificado en el plazo de acabamiento de las obras:

La indemnización por retardo en el acabamiento se establecerá en un tanto por mil del importe total de los trabajos contratados, por cada día natural de retardo, contados a partir del día de acabamiento fijado en el calendario de obra.

Las sumas resultantes se descontarán y retendrán con cargo a la fianza.

Demora de los pagos:

Si el propietario no pagara las obras ejecutadas, dentro del mes siguiente que corresponde el plazo convenido, el Contratista tendrá además el derecho de percibir el abono de un cuatro y medio por ciento (4,5 por 100) anual, en concepto de intereses de demora, durante el espacio de tiempo de retardo y sobre el importe de la mencionada certificación. Si todavía transcurrieran dos meses a partir del acabamiento de este plazo de un mes sin realizar se este pago, tendrá derecho el Contratista a la resolución del contrato, procediendo se a la liquidación correspondiente de las obras ejecutadas y de los materiales almacenados, siempre que estos reúnan las condiciones preestablecidas y que su cantidad no exceda de la necesaria para la finalización de la obra contratada o adjudicada. Pese al expresado anteriormente, se rehusará toda solicitud de resolución del contrato fundado en la demora de pagos, cuando el Contratista no justifique que en la fecha de la mencionada solicitud ha invertido en obra o en materiales almacenados admisibles la parte de presupuesto correspondiente al plazo de ejecución que tenga señalado al contrato.

