



UNIVERSITAT
JAUME•I

Universitat Jaume I

Escola Superior de Tecnologia i Ciències Experimentals

Grau en Enginyeria Química

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN UN VERTEDERO DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Trabajo Fin de Grado

Autor/a

Diego Safont Safont

Tutor/a

Juan Carlos Jarque Fonfría

Francisco J. Colomer Mendoza

Castellón, febrero de 2017

ÍNDICE GENERAL

0. RESUMEN

1. MEMORIA

2. ANEXOS

ANEXO N°1. Estudio de producción de biogás

ANEXO N° 2. Humedad requerida para la producción de biogás

ANEXO N° 3. Dimensionado de los equipos y las tuberías

ANEXO N° 4. Purificación y aprovechamiento

ANEXO N° 5. Catálogos

3. PLANOS

4. PLIEGO DE CONDICIONES

5. ESTADO DE MEDICIONES

6. PRESUPUESTO

0. RESUMEN

El presente proyecto está dirigido, como dice el título, a estudiar la posibilidad de instalar un biorreactor activable en el depósito de rechazos de la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos de Cervera del Maestre.

Para introducir el trabajo, se han introducido todos los conceptos con los que se va a trabajar, junto con las características principales sobre las que se va a basar el estudio. Además de especificar todos los datos facilitados por la propia empresa para poder llevar a cabo el estudio.

El trabajo está centrado en el biogás que se puede generar a partir de los residuos que se depositan en el vertedero, una vez el depósito esté sellado. Para realizar el estudio sobre la producción de biogás, me he basado en dos de los factores más importante que afectan a la producción de biogás y los cuales son los más sencillos de controlar, estos factores son la humedad de los residuos y la temperatura en el interior del vertedero.

El estudio se ha llevado a cabo a partir de un programa que se llama “LandGem”, este programa contiene todas las ecuaciones necesarias para conseguir la evolución del biogás en el tiempo. La forma en la que se ha realizado el estudio es la siguiente, se han ido cambiando los diferentes grados de humedad del residuo, así como la temperatura a la que se encuentra el vertedero, de manera que se ha querido obtener que la producción de biogás sea óptima y así inertizar el vertedero en un tiempo menor.

Junto a este estudio también se ha realizado un diseño de como construir el biorreactor, ya que solo se necesita introducir tuberías a medida que se va llenando el vertedero, y de una manera estratégica para que el aumentar el grado de humedad se haga de la manera más homogénea posible.

1. MEMORIA

ÍNDICE

1. OBJETO.....	5
2. ALCANCE	6
3. ANTECEDENTES	8
4. NORMAS Y REFERENCIAS	13
4.1. Disposiciones legales.....	13
4.2. Programas informáticos utilizados.	14
4.3. Bibliografía.	15
5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	18
6. MARCO TEÓRICO	19
6.1. Vertederos de residuos sólidos urbanos.....	19
6.1.1. Definición de vertedero y componentes.....	19
6.1.2. Tipos de vertedero	20
6.1.3. Reacciones que se producen en un vertedero.....	22
6.2. Generación de los gases de vertedero	23
6.2.1. Composición y características del biogás	24
6.2.2. Factores que influyen en la generación de biogás.....	25
6.2.3. Fases de generación del biogás	28
6.3. Generación del lixiviado.....	32
6.3.1. Composición del lixiviado.	33
6.4. Sistemas de extracción.....	34
6.4.1. Sistemas de control pasivos	34
6.4.2. Sistemas de control activos	34
6.4.3. Sistemas de extracción de gas.....	34

6.4.4.	Sistemas de extracción de lixiviados.....	36
7.	DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA BIOCUBI.	38
8.	REQUISITOS DE DISEÑO	43
8.1.	Localización	43
8.2.	Geología	44
8.3.	Climatología.....	45
8.4.	Evolución temporal	45
8.5.	Caracterización de los residuos.....	46
8.6.	Caracterización de los lixiviados.....	49
8.7.	Sistema de extracción de biogás.....	50
8.8.	Sistema de extracción de lixiviados.....	51
8.9.	Capas de impermeabilización	52
8.10.	Capas de sellado.....	54
8.11.	Estabilidad de los taludes	56
9.	ANALISIS DE SOLUCIONES.....	58
9.1.	Estudio de producción de biogás	58
9.2.	Cálculo de la cantidad de lixiviado/agua a añadir	64
9.2.1.	Capacidad de campo.....	65
9.2.2.	Calculo de la capacidad de campo máxima.	66
9.2.3.	Cálculo de la cantidad de lixiviados/agua necesaria para los residuos. 66	
9.3.	Dimensionado de equipos y tuberías.....	69
9.3.1.	Dimensionado de las tuberías.	69
9.3.2.	Dimensionamiento de la bomba de recirculación.	72
9.3.3.	Válvulas para regular el caudal.	73

9.3.4.	Equipos para el control del nivel.....	74
9.3.5.	Energía necesaria para calentar los lixiviados/agua.....	74
9.4.	Purificación del biogás.	75
9.5.	Aprovechamiento del biogás.	76
10.	PLANIFICACIÓN	77
11.	ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA	79
11.1.	Resumen de presupuesto.	79
11.1.1.	Presupuesto de ejecución material.	79
11.1.2.	Presupuesto de Ejecución por Contrata.	79
11.2.	Presupuesto de explotación.....	80
11.2.1.	Gastos directos.	80
11.2.2.	Amortización.....	81
11.2.3.	Gastos indirectos.....	82
11.2.4.	Gastos totales.	82
11.3.	Beneficio.....	83
11.3.1.	Beneficio bruto.....	84
11.3.2.	Beneficio neto.....	84
11.4.	Flujo de caja.....	85
11.5.	Valor Actual Neto.	85
11.6.	Tasa Interna de Rentabilidad.....	86
11.7.	Período de retorno.	88
11.8.	Subvenciones a proyectos de energías renovables.	88
12.	CONCLUSIONES	90

1. OBJETO

El proyecto está dirigido a acelerar la producción de biogás en el vertedero de Cervera del Maestre, por dos motivos:

Los vertederos mantienen una actividad biológica grande después del sellado. Esta actividad biológica puede extenderse hasta los 100 años o más. Además, ésta produce biogás, el cual contiene metano, y puede ser contaminante para el medio ambiente. Los objetivos principales del proyecto son:

- Estudiar el aumento de la actividad biológica para producir una mayor cantidad de biogás en un menor tiempo.
- Prediseñar un biorreactor para la producción controlada de biogás en el vertedero.
 - o Dimensionamiento de equipos y conducciones.
- Purificar y aprovechar el biogás producido.
 - o Instalación de motores.
 - o Instalación de los sistemas de purificación del biogás.

2. ALCANCE

Actualmente la mayor parte de los vertederos de la UE se utilizan para almacenar la fracción resto (rechazo) que sale de las plantas de tratamiento. La degradación anaeróbica de esta fracción resto produce un gas al que se le llama gas de vertedero o biogás. El biogás es un gas compuesto fundamentalmente por CO₂ y CH₄, y por otros en menor proporción como SH₂, CO, COV, H₂, N₂, etc.

Se conoce que el biogás es un gas contaminante, sobre todo por el contenido en metano, ya que el metano contribuye al efecto invernadero 21 veces más que el CO₂. Por este motivo se obliga a evitar en la medida de lo posible la emisión de biogás a la atmósfera.

Las soluciones que se han elaborado para la eliminación de biogás son las siguientes:

- Se implanta un sistema de impermeabilización del vaso del vertedero para evitar las migraciones de gas a través de los laterales y fondo del vaso. Una vez el vertedero esté a su capacidad máxima, se sella de la misma manera para evitar la emisión de biogás.
- Se instala un sistema de desgasificación o extracción de biogás mediante tuberías perforadas verticales. Las tuberías están conectadas a una red de colectores que conectan con una antorcha que quema el biogás eliminando el metano que contiene.

Todo el biogás que se produce en los vertederos podría ser aprovechado en lugar de simplemente eliminarlo mediante las antorchas. Cuando se habla de aprovechar el biogás se habla de producir energía a partir de éste. El porcentaje de metano contenido en el biogás es del 45 al 60 %, por lo que se podría conseguir producir energía a partir de éste. En lugares como Italia ya se realiza esta práctica y está suponiendo una producción considerable de energía. Sin embargo, por su contenido en fracciones de degradación lenta, en las condiciones normales de un vertedero, la biodegradación del rechazo suele alargarse durante muchos años (hasta 100 años ó más). Esto provoca grandes oscilaciones en el caudal de biogás generado, además de bajas concentraciones de metano. Así pues, para intentar acortar este periodo, acelerar la biodegradación anaerobia y normalizar el caudal de biogás se plantea el proyecto de un biorreactor, ya que sin la implantación de

este no sería posible producir energía a partir del biogás, debido a que son necesarias grandes cantidades de biogás para hacer funcionar motores de combustión interna.

Además, acelerar el proceso de producción de biogás supone ventajas para los vertederos. La formación de biogás proviene de la degradación de los rechazos, que se traduce en asentamientos en el vertedero, estos asentamientos proporcionan recuperar parte del volumen del vaso pudiendo reaprovecharlo para introducir más rechazos. Como se ha comentado en el párrafo anterior, esta producción masiva de biogás permite generar energía mediante motores de combustión. Además, la degradación acelerada de los rechazos

En un futuro, una vez se haya inertizado el vertedero, el material resultante, compuesto principalmente por plásticos, podría aprovecharse como material de combustión en hornos para cementeras por ejemplo o en incineradoras con recuperación de energía. Esto se debe a que el poder calorífico de este material es muy parecido al del carbón (por encima de las 4.000 kcal/kg). A la materia inerte se le llama combustible derivado de residuos (CDR).

3. ANTECEDENTES

Evolución histórica de los vertederos.

Hace unos 2 500 000 años, en la época conocida como Paleolítico, el hombre consumía los recursos que la tierra generaba. No se preocupaba de producir, sólo de recolectar y de cazar, para lo que se proveía de piedras, que más o menos tallaba, huesos y palos.

Estos grupos no eran grandes y todo lo que consumían podía ser absorbido por la tierra, pero la humanidad evolucionaba y con ello descubrieron el fuego, empezaban a aumentar de número y se convirtieron en tribus.

El descubrimiento de la agricultura y ganadería fue el inicio del Neolítico. Esto volvió al ser humano sedentario y se empezaron a construir los primeros poblados. Los residuos que se generaban se depositaban en los alrededores, eran de fácil descomposición, y la poca cantidad que había seguía siendo fácilmente degradable por la tierra, por lo que no presentaba ningún problema.

El último periodo se conoce como la Edad de los Metales, donde el ser humano descubriría los metales y aprendería cómo utilizarlos. Este periodo se divide en tres subperiodos, estos subperiodos están nombrados según los metales que la humanidad fue utilizando. La edad de cobre fue la primera, más adelante vino la edad de bronce y la última de todas, la edad de hierro.

A partir de esta edad las civilizaciones empezaron a evolucionar mucho más, se inventó la escritura, apareció la alfarería y producciones de productos químicos (yeso, cal, etc.). Estos productos empezaban a ser menos biodegradables pero no supusieron un problema hasta que las civilizaciones empezaron a crecer en gran medida, lo que hizo que los residuos empezaran a ser un problema. La composición de los residuos se iba modificando y estos eran cada vez más difíciles de eliminar, además de que también seguían aumentando.

Los graves problemas que los residuos ocasionaban en las grandes ciudades como la de Roma llevaron a la aparición de los primeros vertederos de los que se tiene constancia. Uno de ellos formó una de las actuales colinas de Roma, el monte Testaccio, el cual tuvo su origen en el inmenso vertedero que se destinó para estos restos cerámicos. Otro

vertedero descubierto en Iruña de Oca (Álava) del cual se está consiguiendo una gran cantidad de información a partir de los residuos encontrados en él.

Con esta información deducimos que en el momento que los residuos empezaron a convertirse en un problema para los humanos, aparecieron los vertederos en los que se depositaban los residuos de manera más o menos controlada.

Los problemas que ocasionaban en los residuos sólidos urbanos, sanitarios y de mal olor, llevaron a que la deposición de éstos se llevara a cabo en las afueras de las ciudades. Como es de imaginar la deposición de los residuos era básicamente sacar de la calle los residuos y llevarlos a las afueras, por lo que era muy complicado poder aprovechar la materia orgánica en la agricultura o la ganadería.

A medida que la sociedad avanzaba se descubrió que si enterraban los residuos conseguían evitar las ratas, aves, insectos, etc. (Henry et al. 1999) y en consecuencia se mejoraban las condiciones higiénicas, evitando las posibles enfermedades que transportaran. Aun así en muchos núcleos urbanos se seguían depositando los residuos en zonas cercanas a corrientes de agua, esto provocaba incendios, la contaminación del agua, malos olores, ratas, etc.

En 1929 se cita en un artículo la deposición de residuos en un vertedero controlado (Hickman et al. 2000), aunque los residuos no se compactaban pero si eran cubiertos con tierra o cenizas. Entre los años 1930 y 1939 en Estados Unidos se estudió el hecho de compactar los residuos para aprovechar mejor el espacio que ocupaban los vertederos (Hontoria et al. 2000; Hickman et al. 2000).

En la definición de “relleno sanitario” de los años 1930 a 1940 no se incluían asuntos como el análisis de la densidad, grado de compactación, frecuencia y profundidad de la celda, delimitación del acceso, etc. y, por supuesto no se realizaba ningún tipo de diseño ni proyecto preliminar (Blakeley et al. 2000).

Fue durante la Segunda Guerra Mundial cuando se estudiaron más detenidamente éste tipo de vertederos. Los estudios fueron llevados a cabo por el Ejército de Estados Unidos, en estos se descubrió la facilidad con la que los vertederos se podían adaptar a las diferentes condiciones a las que se sometían los vertederos, las cantidades que abarcaban y los procedimientos de operación. Además de esto, se determinó que para vertederos construidos para albergar cantidades muy superiores en comparación con los

demás vertederos se necesitarían sistemas de drenaje e impermeabilización (Hickman et al. 2000).

A partir de la aparición de estas técnicas, se extendieron por Estados Unidos y Europa rápidamente, de manera que en 1945 alrededor de 100 ciudades habían construido un vertedero controlado, y en 1960 este número aumento a los 1400 (APWA, 1961).

En 1955, Ralph Black del Departamento de Salud del Estado de California, experimentó sobre la frecuencia de la cobertura necesaria para evitar las moscas. En colaboración con el entomólogo A.M. Barnes y después de un periodo de experiencias, indicaron que una capa de terreno compactado de 6,7 cm prevenía la eclosión de moscas. Limitaciones operativas en cuanto a la maquinaria, recomendaron una capa de unos 15 cm (Hickman et al. 2000).

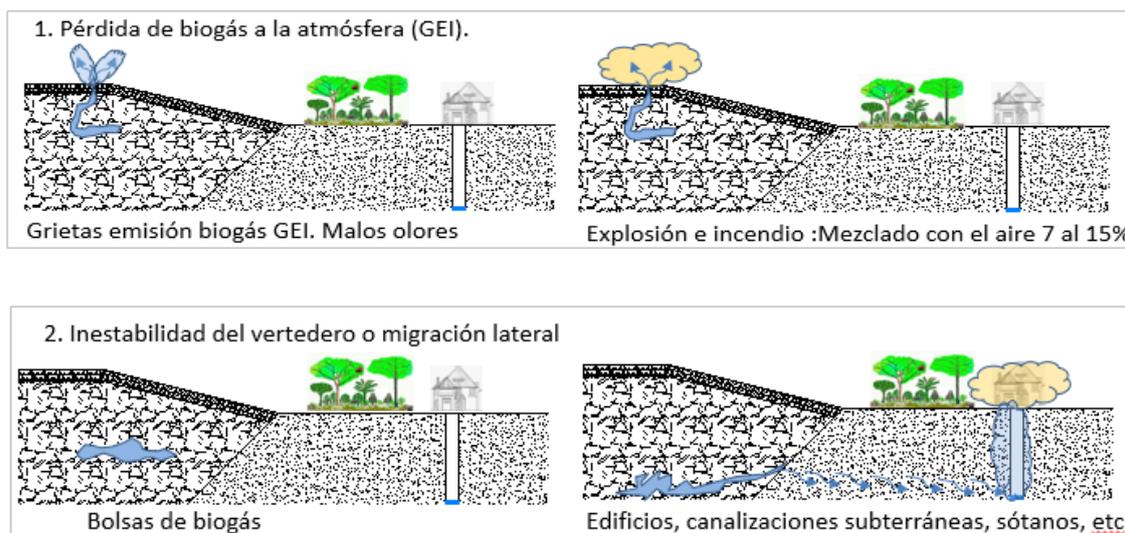
En 1961 la USPHS (United States Public Health Service) desarrolló una serie de recomendaciones para las operaciones en vertederos:

- La geología del sitio es un factor constructivo importante para evitar la contaminación del agua y el movimiento lateral de gases.
- Los residuos no deben tener contacto con aguas superficiales ni subterráneas.
- Los vertederos deben realizarse siguiendo diseños ingenieriles.
- No deben encenderse fuegos en las inmediaciones.
- No deben haber animales domésticos.
- El acceso al recinto debe estar limitado.
- Todos los residuos que se van a depositar deben haber sido pesados.
- La instalación debe estar provista de teléfono o radio control.
- El frente de trabajo debe ser mínimo.
- Los residuos deben ser esparcidos y compactados en capas de 2 ft (unos 0,6 m). Aunque son preferibles capas de hasta 8 ft. (unos 2,4 m.).
- Debe ser aplicada una capa de cobertura diaria de al menos 6 in. (unos 15 cm.).

- La superficie de cobertura debe estar impermeabilizada para impedir la entrada del agua de lluvia en la masa de residuos.
- La cobertura de sellado y clausura debe ser mantenida durante un tiempo prudencial tras el cierre del vertedero

A partir de 1965 los problemas de contaminación y las explosiones llevaron a investigar las migraciones de gases que se producían en el interior de los vertederos. Las migraciones pueden ser verticales o laterales (Figura M3.1.), las migraciones verticales de gas se dirigen a la atmósfera contribuyendo al efecto invernadero y produciendo incendios y explosiones en la superficie del vertedero. Por otro lado, en las migraciones laterales el gas sale a través de canalizaciones subterráneas, edificios, sótanos, pozos, etc. provocando asfixias, explosiones y envenenamientos.

Figura M3.1. Problemas que producen las migraciones de biogás.



Los casos de contaminación y explosiones llevaron a la aparición de métodos de aprovechamiento de los gases, y lo mismo ocurrió con los lixiviados.

No sería hasta el año 1978 cuando apareció el primer vertedero controlado de España, en Madrid. Los residuos que se depositaban no producían olores, ya que una vez depositados se cubrían y realizaban un seguimiento de lo que ocurría en los residuos que había dentro del vertedero. La instalación no solo estaba constituida por el vertedero, sino también por un sistema de trituración e incineración de animales.

Esto supuso un cambio en el estudio de los vertederos, ya que desencadenó en una gran cantidad de investigaciones en la forma de operación de los vertederos y su diseño. Además se trabajó en mejorar el aprovechamiento energético y el tratamiento de los lixiviados, así como la relación existente entre el biogás y los lixiviados.

Algunos de los sistemas desarrollados fueron la plastificación de las balas para eliminar gases, olores y lixiviados, elaborado en la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC). Otro de los sistemas fue el “Vertedero sostenible”, en este tipo de vertedero se aplica un pretratamiento, lavado y vigilancia, de manera que se pretende controlar el impacto ambiental a largo plazo minimizándolo todo lo posible tras el sellado y clausura del vertedero, este tipo de vertedero fue desarrollado en la Universidad de Padua (Italia).

A día de hoy se han construido vertederos controlados en los que se realiza un pretratamiento a los residuos. Con el tratamiento se pretende disminuir el grado de humedad que sirve para que la materia orgánica deje de degradarse y así minimizar los olores, además de conseguir unas condiciones más saludables en los puestos de trabajo y reducir las emisiones contaminantes a la atmosfera. De este proceso por una parte, obtenemos compost mediante la fermentación aeróbica, y por otra parte, nos facilita la separación de los residuos para el reciclaje y la fracción resto, que es la que llega al vertedero.

En algunos vertederos de Italia se han construido bioreactores activables, los cuales consisten en la activación de la degradación anaeróbica mediante el aumento de la humedad de los residuos dentro del vertedero cuando está completamente sellado. Este proceso se utiliza para potenciar la generación de biogás y reducir la vida del vertedero después del sellado, reduciendo las emisiones incontroladas de biogás y aprovechándolas para la generación de energía.

4. NORMAS Y REFERENCIAS

4.1. Disposiciones legales.

- Directiva 75/442/CEE del Consejo, de 15 de julio de 1975, relativa a los residuos.
- Directiva 99/31/CE del Consejo de 26 de abril 1999 relativa al vertido de residuos.
- Decisión 2003/33/CE del Consejo, de 19 de diciembre de 2002, por la que se establecen los criterios y procedimientos de admisión de residuos en los vertederos con arreglo al artículo 16 y al anexo II de la Directiva 1999/31/CEE.
- Directiva 2006/12/CE, del Parlamento y del Consejo, de 5 de abril, relativa a los residuos (modificación de la Directiva 75/442/CEE).
- Directiva 98/2008/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas (Directiva Marco de Residuos).
- LEY 10/1998, de 21 de abril, de Residuos. deriva de la Directiva 156/91.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Ley 11/2012, de 19 de diciembre, de medidas urgentes en materia de medio ambiente. (BOE nº 305, de 20/12/12).
- REAL DECRETO 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. transpone la Directiva 1999/31.
- Real Decreto 1304/2009, de 31 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante el depósito en vertedero (BOE nº 185, de 01/08/09).
- Real Decreto 180/2015, de 13 de marzo, por el que se regula el traslado de residuos en el interior del territorio del Estado (BOE nº 83, de 07/04/15).
- Orden Ministerial (Orden MAM/304/2002), de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos.
- Resolución de 16 de noviembre de 2015, de la Dirección general de Calidad Ambiental y Evaluación Ambiental y Medio Natural, por la que se publica el Acuerdo del Consejo

de Ministros de 6 de noviembre de 2015, por el que se aprueba el Plan Estatal Marco de Gestión de Residuos (PEMAR) 2016-2022. (BOE nº 297, de 12/12/15).

LEY 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunidad Valenciana.

- Decreto 81/2013, de 21 de junio, del Consell, de aprobación definitiva del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV) (DOCV nº 7054, de 26/06/13).
- Decreto 22/2015, de 13 de febrero, del Consell, por el que se regulan las funciones y el Registro de Entidades Colaboradoras en Materia de Calidad Ambiental de la Comunitat Valenciana. (DOCV nº 7466, de 16/02/15).
- Decreto Ley 4/2016, de 10 de junio, del Consell, por el que se establecen medidas urgentes para garantizar la gestión de residuos municipales (DOCV nº 7805, de 14/06/16).
- Orden 12/2012, de 26 de diciembre, de la Conselleria de Hacienda y Administración Pública, por la que se regula el censo de titulares de la explotación de vertederos públicos o privados de la Comunitat Valenciana y se establecen las declaraciones de alta, modificación y cese de la actividad de explotación de vertederos para la gestión del impuesto sobre eliminación de residuos en vertederos (DOCV nº 6932, de 28/12/12).
- Orden 3/2013, de 25 de febrero, de la Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, por la que se publica la relación de residuos susceptibles de valorización a los efectos del impuesto sobre eliminación de residuos en vertederos. (DOCV nº 6979, de 06/03/13).
- Orden 26/2014, de 30 de octubre, de la Consellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, por la que se aprueba el documento de desarrollo de las medidas articuladas en el Programa de Prevención del Plan Integral de Residuos de La Comunitat Valenciana (DOCV nº 7399, de 10/11/14).

4.2. Programas informáticos utilizados.

- AutoCAD 2017.
- LandGEM – Landfill Gas Emissions Model, Version 3.02 (U.S. Environmental Protection Agency).

4.3. Bibliografía.

- APWA (American Public Works Association. Committee on Refuse Disposal), 1961, Municipal refuse disposal, Chicago : Public Administration Service, 1961. 506 p.
- Apuntes EQ1031 Proyectos de Ingeniería. Colomer Mendoza, F. J.
- Barber, C., 1979, Behaviour of wastes in landfills, Review of processes of decomposition of solid wastes with particular reference to microbiological changes and gas production, Water Research Centre, Stevenage Laboratory Report LR 1059, Stevenage, UK.
- Blakeley, J.P. and Hooper, G. 2000. "Landfill guidelines". Centre for Advanced Engineering. University of Canterbury Christchurch. Christchurch (New Zealand).
- Brown, K.A.; Maunder, D.H. "Exploitation of Landfill Gas: a UK Perspective" Wat. Sci. Tech., 30, 143-151, 1994.
- Colomer, F.J. 2006 "Tesis doctoral: Análisis y sistematización de la seguridad medioambiental de los vertederos de residuos urbanos y asimilables: Aplicación a las balsas de lixiviados".
- Colomer, F.G., Gallardo, A. 2007 "Tratamiento y gestión de residuos sólidos". Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia.
- Gendebien, A.; Pauwels, M.; Constant, M.; Ledrut-Damanet, M.J.; Nyns, E.J.; Willumsen, H. C.; Butson, J.; Fabry, R. y Ferrero, G.L. "Landfill biogas. From Enviroment to Energy" Commission of thhe European Communities. Final Report EUR 14017 / 1 EN, Luxemburgo, 1992.
- Haubry, A., Bonnin, C. y Prévot, C., 1992, Aerobic and Anaerobic Sludge Treatment Disinfection Techniques. Sludge 2000 Conference, Paper 8, Cambridge.
- Henry, J.G. and Heinke, G.W. 1999. "Ingeniería Ambiental". Prentice Hall. México. vol. 2.
- Heyer, K.U., Stegmann, R., 1998, landfill systems, sanitary landfilling of solid wastes, long-term problems with leachates. In: biotechnology, vol. 11a, wiley-vch verlag.

- Hickman, H.L. and Eldredge, R.W. 2000. "A brief history of solid waste management during the last 50 years". MSW Management.
- Hontoria, E. and Zamorano, M. 2000. "Fundamento del manejo de los residuos urbanos". Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Granada.
- Marticorena, B. et al. (1993). "Prediction rules for biogas valorisation in municipal solid waste landfills". Wat. Sci. Tech., 27, 235-241.
- Martín, S. 1997. "Tesis Doctoral: Producción y recuperación del biogás en vertederos controlados de residuos sólidos urbanos: Análisis de variables y modelización". Universidad de Oviedo.
- Martínez, L.M. "Tratamiento biológico mecánico y biorreactores" Director Área de Residuos TECONMA, S.A.
- Martí-Ortega, N., 2006, Phosphorus precipitation in anaerobic digestion process. Report. Dissertation.com, Boca Raton, Florida. www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf, consultado el 23 de abril de 2010.
- Pacey, J.G.; DeGier, J.P. "The factors influencing landfill gas production" Proc. Conf. "Energy from Landfill Gas", Solihull, Gran Bretaña, 1986.
- Pohland, F.G.; Al-Yousfi, B. "Design and operation of Landfills for Optimum Stabilization and Biogas Production" Wat. Sci. Tech., 30, 117-124, 1995.
- Rao Gurijala, K.; Suflita, J.M. "Environmental factors influencing methanogenesis from refuse in Landfill samples" Environ. Sci. Technol., 27, 1176 – 1181, 1993.
- Senent, J. 2012. "Tesis Doctoral: Predicción de lixiviados en vertederos de residuos sólidos urbanos en ambientes semiáridos. Aplicación del modelo help en el vertedero de Fuente Álamo (Murcia)". Universidad de Murcia.
- Speece, R.E., Parkin, G.F., Gallagher, D., 1983, Nickel stimulation of anaerobic digestion. Water Research 17 (6) 677-683.
- Stegman, R.; Spendlin, H. "Research activities on enhancement of biochemical processes in sanitary Landfill" Water poll. Res. J. Canada, 21, 1986.

- Suflita, J.; Gerba, C.; Ham, R.; Palmisano, A.; Rathje, W.; Robinson, J. "The world's Largest Landfill: A Multidisciplinary Investigation" *Environmental, Science and Technology*, 26, 1486 – 1495, 1992.
- Szanto Narea, M., 2000, El vertedero controlado. Ingeniería de vertederos, libro de ponencias del curso de verano Universidad de Cantabria: Vertederos Controlados de Residuos Sólidos Urbanos: Una Perspectiva Internacional, Ed. Suances. Santander.
- Tchobanoglous, G., Theysen, H. and Vigil, S. 1994. "Gestión Integral de Residuos Sólidos". Ed. McGraw-Hill/Interamericana de España. Madrid.
- United Kingdom Department of the Environment "Landfill Gas", Waste Management Paper N° 2, 1994.
- Wu, H.; Wang, H.; Zhao, Y.; Chen, T.; Lu, W. (2012). "Evolution of unsaturated hydraulic properties of municipal solid waste with landfill depth and age" . *Waste Management*, 32 (3), pp. 463-470.

5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Para empezar conviene conocer algunos de los términos más importantes utilizados en las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos.

RSU: Residuos Sólidos Urbanos.

COT: Carbón orgánico total.

DQO: Demanda química de oxígeno.

DBO₅: Demanda biológica de oxígeno.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

CDR: Combustible Derivado de Residuo.

PCI: Poder Calorífico Inferior.

CSR: Combustible Sólido Recuperado.

COVNM: Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano.

EPA: *Environmental Protection Agency*.

NMOOC: Concentración de Compuestos Orgánicos No Metanógenos.

CAA: *Clean Air Act*.

VOC: Compuestos Orgánicos Volátiles.

HAP: Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Vertederos de residuos sólidos urbanos

6.1.1. Definición de vertedero y componentes

La *Ley 10/1998, de 21 de abril, de Residuos*, define **vertedero** como *toda instalación de eliminación que se destine al depósito de residuos en la superficie o bajo tierra.*

La siguiente definición incluida en la *Directiva 1999/31/CE del Consejo de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos*, nos dice que un **vertedero** es un *emplazamiento de eliminación de residuos que se destina al depósito de los residuos en la superficie o subterráneo, incluyendo:*

- *Los emplazamientos internos de eliminación de residuos (es decir, el vertedero en el que un productor elimina sus residuos en el lugar donde se producen),*
- *Los emplazamientos permanentes (es decir, por un período superior a un año) utilizados para el almacenamiento temporal de residuos,*
- *Pero excluyendo:*
 - *Las instalaciones en las cuales se descargan los residuos para poder prepararlos para su transporte posterior a otro lugar para su valorización, tratamiento o eliminación,*
 - *El almacenamiento de residuos anterior a la valorización o tratamiento por un período inferior a tres años como norma general, o*
 - *El almacenamiento de residuos anterior a la eliminación por un período inferior a un año*

La transcripción de la anterior Directiva al territorio español se regula por el *Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero* y define **vertedero** como *instalación de eliminación de residuos mediante su depósito subterráneo o en la superficie, por períodos de tiempo superiores a los recogidos en el párrafo anterior.*

Se incluyen en este concepto las instalaciones internas de eliminación de residuos, es decir, los vertederos en que un productor elimina sus residuos en el lugar donde se producen. No se incluyen las instalaciones en las cuales se descargan los residuos para su preparación con vistas a su transporte posterior a otro lugar para su valorización, tratamiento o eliminación.

Además de las definiciones anteriores, algunos autores también se han escrito diferentes definiciones de vertedero como:

Un relleno sanitario o *vertedero* es una obra de ingeniería destinada a la disposición final de los residuos sólidos, los cuales se disponen en el suelo, en condiciones controladas que minimizan los efectos adversos sobre el medio ambiente y el riesgo para la salud de la población. (GALDAMES. Ingeniería Ambiental & Medio Ambiente. ©2000).

La definición más aceptada de vertedero o relleno sanitario es la dada por la *American Society of Civil Engineers (ASCE)*; Relleno sanitario o vertedero es una técnica para la disposición de residuos sólidos en el suelo sin causar perjuicio al medio ambiente y sin causar molestias o peligro para la salud y seguridad pública, método este, que utiliza principios de ingeniería para confinar la basura en un área lo menor posible, reduciendo su volumen al mínimo practicable, para cubrir los residuos así depositados con una capa de tierra con la frecuencia necesaria, por lo menos al final de cada jornada.

6.1.2. Tipos de vertedero

La Directiva 1999/31/CE, del Consejo, de 26 de abril, relativa al vertido de residuos, establece un régimen concreto para la eliminación de los residuos mediante su depósito en vertederos. Esta los clasifica en 3 tipos principales de vertederos según el tipo de residuo que se debe introducir en cada uno de ellos, definidos en los *artículos 4 y 6* de la citada Directiva:

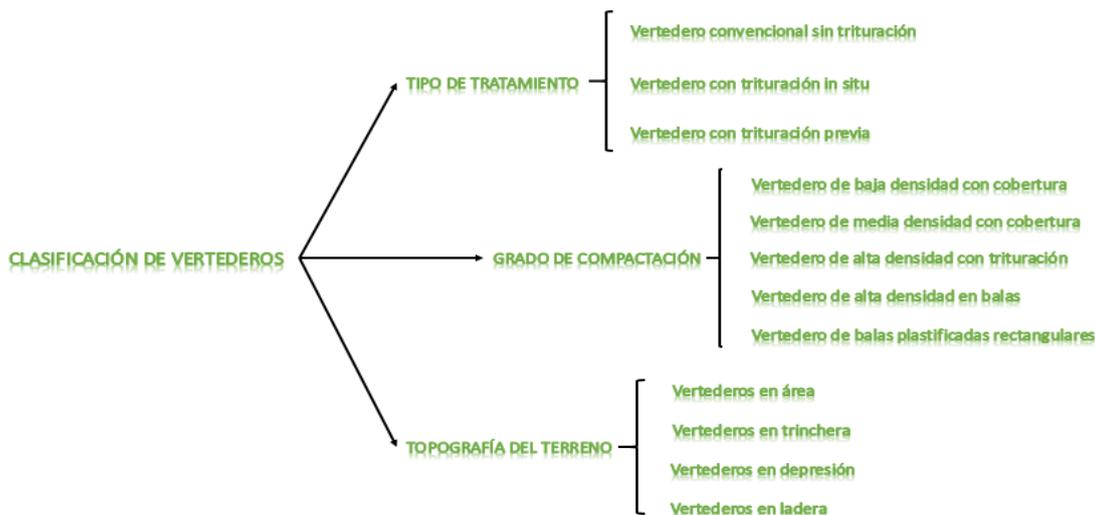
- Vertedero para residuos peligrosos
- Vertedero para residuos no peligrosos
- Vertedero para residuos inertes

Además en el *artículo 6* de la *Directiva 1999/31/CE* define los residuos que serán admitidos en los diferentes tipos de vertedero:

1. Sólo podrán depositarse en vertedero residuos que hayan sido objeto de algún tratamiento previo. Esta disposición no se aplicará a los residuos inertes cuyo tratamiento sea técnicamente inviable ni a cualquier otro residuo cuyo tratamiento no contribuya a los objetivos establecidos en el artículo 1, reduciendo la cantidad de residuos o los peligros para la salud humana o el medio ambiente.
2. Los vertederos de residuos peligrosos sólo admitirán residuos peligrosos que cumplan los requisitos fijados en el anexo II para dicha clase de vertederos.
3. Los vertederos de residuos no peligrosos podrán admitir:
 - a) Residuos urbanos.
 - b) Residuos no peligrosos de cualquier otro origen que cumplan los criterios pertinentes de admisión de residuos en vertederos de residuos no peligrosos fijados en el anexo II.
 - c) Residuos peligrosos no reactivos, estables o provenientes de un proceso de estabilización, cuyo comportamiento de lixiviación sea equivalente al de los residuos no peligrosos mencionados en el párrafo b) anterior, y que cumplan los criterios pertinentes de admisión establecidos, en su caso, en el anexo II. Dichos residuos peligrosos no se depositarán en celdas destinadas a residuos no peligrosos biodegradables.
4. Los vertederos de residuos inertes sólo admitirán residuos inertes que cumplan los criterios de admisión fijados en el anexo II para dicha categoría de vertederos.

A partir de esta clasificación y conociendo la complejidad de los vertederos, por lo diferentes diseños, la ubicación, la explotación o su clausura, se adoptaron nuevas clasificaciones basándose en otros factores. La figura M6.1. muestra la clasificación de los vertederos:

Figura M6.1. Clasificación de vertederos.



6.1.3. Reacciones que se producen en un vertedero

Los residuos sólidos que se introducen en un vertedero controlado sufren unos cambios biológicos, químicos y físicos entre si interrelacionados.

Reacciones biológicas

Las reacciones más importantes en los vertederos son aquellas que afectan a la materia orgánica de los RSU, ésta evoluciona produciendo gas de vertedero y, ocasionalmente, líquidos. El proceso de descomposición biológica normalmente sucede aeróbicamente durante un corto período de tiempo, una vez se agota el oxígeno esta descomposición pasa a ser anaerobia donde se empieza a producir biogás.

Reacciones químicas

Las reacciones químicas más importantes que se producen en un vertedero incluyen:

- 1- Disolución y arrastre en suspensión de los materiales de los residuos y de productos de conversión biológica en los líquidos que se filtran a través de los residuos.
- 2- Deshalogenación y descomposición de compuestos orgánicos.
- 3- Reacciones de oxidación-reducción que afectan a los metales y a la solubilidad de las sales metálicas.

Procesos físicos

Entre los cambios más importantes que se producen en los vertederos están:

- 1- Difusión lateral de los gases del vertedero y la emisión de gases de vertedero al medio circundante.
- 2- Movimiento del lixiviado dentro y hacia abajo del vertedero.
- 3- El asentamiento causado por la consolidación y descomposición del material vertido.
- 4- La evaporación de los compuestos químicos y de agua en el gas de vertedero.
- 5- La absorción de compuestos orgánicos volátiles y semivolátiles en el material vertido.

6.2. Generación de los gases de vertedero

La degradación aerobia, que se produce en la naturaleza, es la descomposición que sufren los restos vegetales, los animales muertos y los excrementos de los animales en presencia de oxígeno. La presencia de oxígeno favorece la aparición de microorganismos que requieren de éste para realizar la descomposición, ya que estos microorganismos consumen oxígeno en su metabolismo. Durante la degradación se produce un desprendimiento de dióxido de carbono (CO_2) y vapor de agua, junto con un aumento de la temperatura.

Hay ocasiones en las que este tipo de degradación pasa a ser anaeróbica ya que deja de haber oxígeno, por lo que los microorganismos que actuaban en presencia de oxígeno dejan de actuar, y en su lugar empiezan a actuar otros microorganismos que no requieren de oxígeno para producir la degradación. Esta degradación va acompañada de un aumento de temperaturas pero en menor grado que en la degradación aerobia, además produce una mezcla de gases entre los que se encuentra el metano (NH_4), dióxido de carbono (CO_2), nitrógeno (N_2) e hidrógeno (H_2).

Al conjunto de estos gases se les denomina de diferente manera según cómo y dónde se produzcan. Si se producen de manera natural, como en las minas, se le llaman grisú o en los yacimientos petrolíferos, se le llama gas natural, por el contrario si se producen de manera artificial, como en la depuración de aguas residuales urbanas o en la eliminación de residuos sólidos urbanos en vertederos controlados, se le llama biogás. En el caso de los vertederos controlados también se conoce como gas de vertedero (Martín, 1997).

6.2.1. Composición y características del biogás

La composición del biogás viene dada por la descomposición de la parte orgánica y lignocelulósica del residuo, está compuesto por varios gases que aparecen en grandes cantidades, junto con otros gases que se encuentran en cantidades pequeñas pero que pueden ser tóxicos y perjudiciales (Tabla M6.1.).

Tabla M6.1. Constituyentes típicos encontrados en el gas de vertedero de RSU. (Tchobanoglous, 1994)

COMPOSICION BIOGAS %	
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrógeno	2 – 5
Oxígeno	0,1 – 1
H ₂ S	0 – 1
Amoníaco	0,1 – 1
Hidrógeno	0 – 0,2
Monóxido de carbono	0 – 0,2

El **metano** es el compuesto más importante del biogás, de éste depende el poder calorífico del gas. El metano es inflamable y explosivo cuando se mezcla en determinadas cantidades de oxígeno, además, es inodoro e incoloro y como tal no es tóxico, pero puede desplazar el oxígeno en sitios cerrados y provocar asfixia. Es un gas perjudicial para el medio ambiente ya que, al ser más ligero que el aire, tiende a escapar hacia la atmósfera y es 21 veces más contaminante que el dióxido de carbono. (Martín, 1997)

El **dióxido de carbono**, al igual que el metano, es inodoro e incoloro, este gas puede producir asfixia al desplazar el oxígeno en el sistema respiratorio, a esto hay que sumarle que sí que es tóxico si se está expuesto a niveles del 1,5% en volumen durante más de 10 minutos (UK Department of the Environment, 1994; Martín, 1997).

El **nitrógeno** puede aparecer por varias causas:

- Entrada de aire al vertedero por una mala cobertura de los residuos.
- Una extracción forzada del biogás excesivamente energética.

- Toma incorrecta de muestras.

El **hidrógeno** se forma en las primeras etapas de la degradación anaerobia, es generado por las bacterias fermentativas y las acidogénicas. Es altamente inflamable, formando mezcla explosiva con el aire en el rango 4 – 74%. (UK Department of the Environment, 1994; Martín, 1997).

El **monóxido de carbono** es altamente tóxico e inflamable, además de inodoro e incoloro, pero su concentración en el biogás es muy baja.

Las principales características del biogás se muestran en la tabla M6.2.:

Tabla M6.2. Características del biogás.

CARACTERISTICAS BIOGAS	
Temperatura (°C)	37 – 67
Densidad específica (t/m³)	1,02 – 1,06
Contenido en humedad (%)	Saturado
Poder calorífico superior (kcal/m³)	3500 – 9000

6.2.2. Factores que influyen en la generación de biogás

En un vertedero existen ciertos factores que influyen directamente en la generación de biogás:

- La cantidad y composición de los residuos.
- Temperatura a la que se encuentra el vertedero.
- La cantidad de precipitaciones que se producen donde está situado.

Cantidad y composición de los residuos.

La cantidad de residuos presente en el vertedero es uno de los factores más importantes, ya que cuantos más residuos haya, mayor será la cantidad de materiales degradables, tanto de degradabilidad lenta como rápida, en el interior del vertedero, por lo que el volumen de biogás producido será mayor.

El contenido en materia orgánica que contenga los residuos es importante para conocer la producción de biogás que se podrá obtener. Los materiales que se degradan dentro del vertedero se dividen según la velocidad de degradación:

- Residuos de **lenta degradación**. Debido a que contienen moléculas orgánicas no solubles en agua. Ejemplos: Papel y cartón, y en general todos los derivados del cartón.

Estos residuos son los que aportan mayor cantidad de biogás, también se les llama residuos lignocelulósicos

- Residuos de **rápida degradación**. Estos residuos contienen un alto grado de humedad, si la cantidad de este tipo de residuos que se vierte en el vertedero es muy alta puede tener como consecuencia retrasar la creación de biogás, esto se debe al descenso del pH. Ejemplo: Restos de comida y jardín.
- Residuos **no biodegradables**. Ejemplo: Vidrio, metales, textiles sintéticos, cenizas, plásticos, etc.

La composición media de los residuos sólidos urbanos en Europa y Estados Unidos se puede resumir en la tabla M6.3.:

Tabla M6.3. Composición media de los RSU en Europa y Estados Unidos.

(%)	Alimentación	Agrícolas	Papel y cartón	Madera	Textil	Plásticos	Cristal	Metales	Otros
UE	20 – 50	12 – 18	20 – 24	1 – 8	1 – 6	3 – 8	4 – 12	3 – 13	1 - 20
EE.UU	8 – 9	18 – 20	36 – 41	8 – 9	6 – 7	8 – 7	8 – 10	9 – 10	1 – 2

Temperatura a la que se encuentra el vertedero.

La temperatura es uno de los dos factores más importantes en la degradación anaerobia. La degradación se produce entre 10°C y 60°C. Fuera del rango la producción de biogás disminuye rápidamente, de manera que por debajo de 10°C la biodegradación se ralentiza hasta entrar en un estado de latencia, y por encima de 70-75°C los microorganismos mueren y la biodegradación cesa. Los rangos óptimos para una buena producción de biogás son: para las bacterias mesófilas el rango está comprendido entre 20°C y 45°C, y para las termófilas el rango es de 45°C a 70°C (Pacey, J.G.; DeGier, J.P., 1986).

El intervalo de temperaturas en el que se encuentran los vertederos esta entre 20°C y 50°C (Stegmann y Spendlin, 1986; Suflita et al., 1992; Rao y Suflita, 1993). El intervalo en el que se suele trabajar es el de las bacterias mesofílicas, porque trabajar con las

bacterias termofílicas puede ser peligroso ya que tienen una gran sensibilidad a los cambios de temperatura.

Precipitaciones que se producen donde está situado.

La humedad es el otro factor más importante en la generación de biogás en el vertedero, esta tiene una relación directa con el tiempo de degradación de los residuos. Los vertederos que están situados en zonas húmedas producirán una mayor cantidad de biogás durante su vida que los que están situados en zonas más secas, sin embargo, una vez se clausuran los vertederos, aquellos que están en las zonas húmedas dejarán de producir biogás antes que los de las zonas secas.

La degradación de los materiales se produce en un intervalo del grado de humedad del 25% - 60%. Los primeros residuos que producen biogás son los de rápida degradación. Si la humedad está situada por debajo del rango provocaría un descenso en la producción de biogás, ya que los microorganismos no tendrían la suficiente humedad para realizar las reacciones (Gendebien, A. et al. “Landfill biogás. From environment to energy”).

Dentro de este apartado se deben tener en cuenta dos factores más, estos son la recirculación de lixiviados por el aporte de materia orgánica, y la regulación del pH. Recircular lixiviados aportaría una mayor cantidad de microorganismos para producir biogás, pero además sería una forma de poder aportar materia orgánica a las zonas en las que no hay o existe muy poca, consiguiendo una mejor homogeneización en la producción. El pH es un parámetro importante, ya que también ayuda a producir biogás. Según la fase del proceso en la que se encuentren, los microorganismos presentan una máxima actividad en un intervalo de pH diferente. Los intervalos óptimos están descritos en la tabla M6.4.:

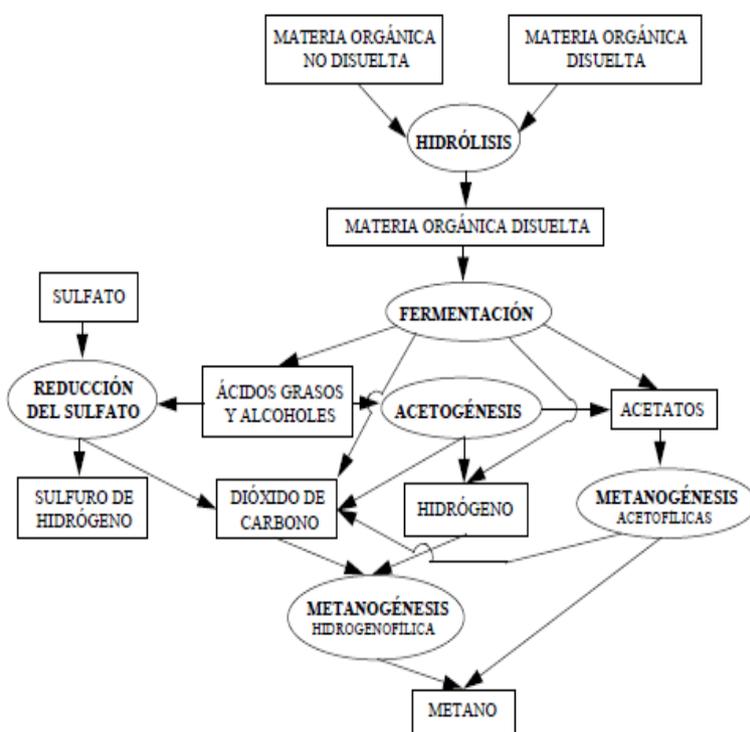
Tabla M6.4. pH para las diferentes fases de formación de biogás.

MICROORGANISMOS	pH
Hidrolíticos	7,2 – 7,5
Acetogénicos	7 – 7,2
Metanogénicos	6,5 – 7,5

6.2.3. Fases de generación del biogás

La producción de biogás es difícilmente predecible, como hemos hablado antes depende de la composición del rechazo, la humedad, temperatura, pH, oxígeno disponible, etc. Según las condiciones en las que se encuentre el vertedero la descomposición de los RSU se producirá en un espacio de tiempo menor o mayor. Además, la heterogeneidad del residuo introducido en el vertedero complica las tareas de control del proceso. Los residuos atraviesan diferentes fases durante su descomposición, la figura M6.2. se muestra la evolución de las fases:

Figura M6.2. Fases de generación de biogás.



Fase de degradación aerobia

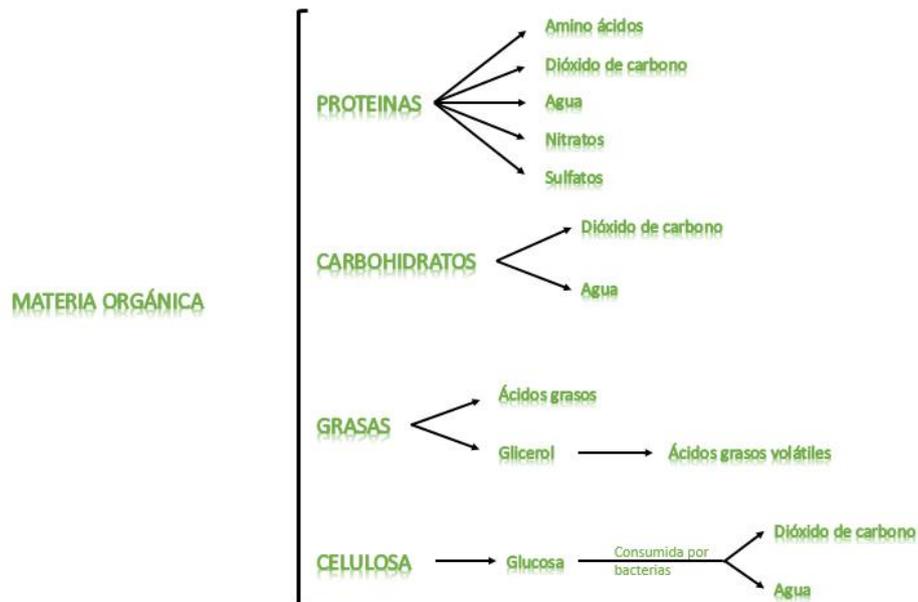
Fase hidrolítica

Esta fase empieza nada más se introducen los residuos dentro del vertedero. En esta fase la descomposición es aerobia, se produce en presencia de oxígeno.

En esta fase, se observa que las proteínas son degradadas en aminoácidos, dióxido de carbono, agua, nitratos y sulfatos (Barber, 1979). Los carbohidratos son transformados en dióxido de carbono y agua y las grasas son hidrolizadas en ácidos grasos y glicerol,

los cuales son degradados posteriormente en ácidos volátiles a partir de la acción intermedia de catabolitos simples. La celulosa, que constituye gran parte de la fracción orgánica de los residuos es degradada a glucosa por medio de enzimas extracelulares, siendo consumida por bacterias y convertida en dióxido de carbono y agua.

Figura M6.3. Componentes formados en la fase hidrolítica.



En esta etapa, debido a las reacciones exotérmicas de la oxidación biológica, se pueden alcanzar temperaturas elevadas de hasta 70°C (Haubry et al., 1992) si la capa de residuos no está compactada (Heyer y Stegmann, 1998). Sin embargo muy pronto se agota el oxígeno atrapado en los espacios intersticiales, dando paso a una descomposición bajo condiciones anaerobias.

Las condiciones ambientales y la cantidad de sustrato orgánico biodegradable limitan la velocidad de estas reacciones, aunque la duración de esta fase suele ser de alrededor de 15 días.

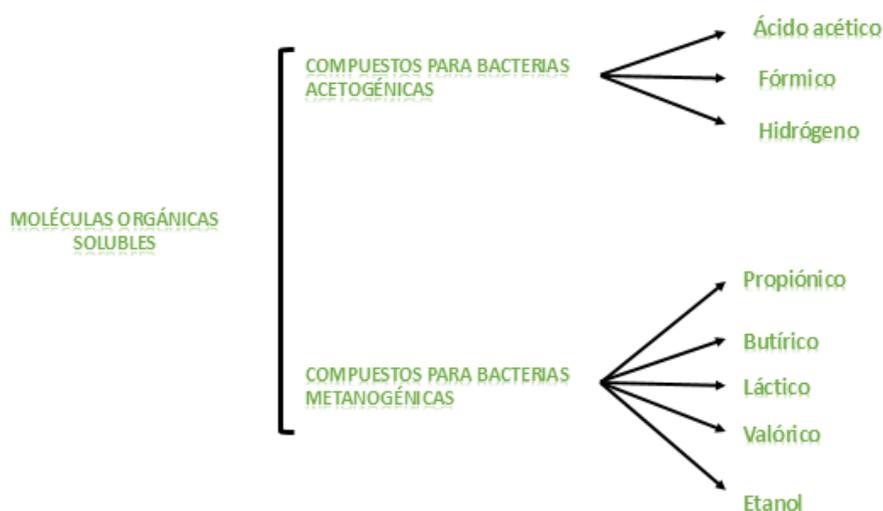
La hidrólisis depende fundamentalmente de la temperatura ambiente, de la composición del residuo, del tamaño de partículas, del pH, de la concentración de NH_4^+ y de la concentración de los productos de la hidrólisis (Speece et al., 1983).

Fase de degradación anaerobia

Fase fermentativa o acidogénica

Durante esta etapa tiene lugar la fermentación de las moléculas orgánicas solubles en compuestos que puedan ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2), y compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valórico, láctico y etanol principalmente) que tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso (Martí-Ortega, 2006).

Figura M6.4. Componentes formados en la fase acidogénica.



Fase acetogénica

Algunos productos de la etapa acidogénica son metabolizados directamente por las bacterias metanogénicas (H_2 y ácido acético). Por otro lado, hay otras moléculas (propiónico, butírico, valórico, láctico y etanol principalmente) que deben ser transformadas en productos más simples (acetato y H_2) por las bacterias acetogénicas.

La fase acidogénica junto con la acetogénica puede durar de dos meses a un año en función de las condiciones de los residuos.

Fase metanogénica

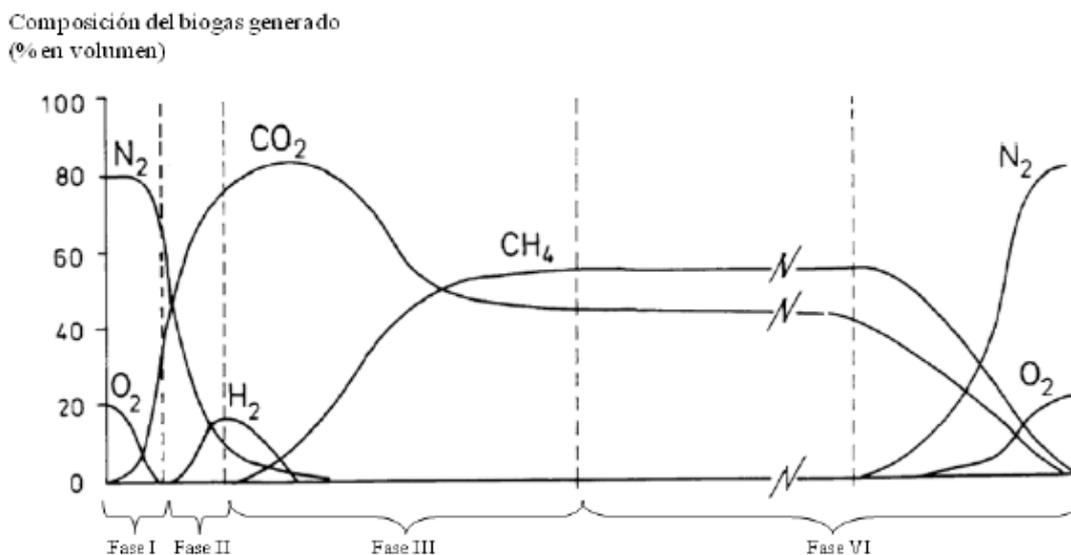
La digestión anaerobia producida en un vertedero se completa con la presencia de bacterias metanogénicas, las cuales generan metano a partir de sustratos monocarbonados

o con dos átomos de carbono unidos por enlace covalente (acetato, H_2 , CO_2 , metanol y algunas metilaminas).

La duración de esta fase es de unos diez años como mínimo, aunque puede llegar a prolongarse hasta períodos de 20 a 25 años e incluso más. Durante esta fase, las proporciones de CH_4 y CO_2 , en el biogás, se mantienen sensiblemente constantes con valores próximos al 55% y 45% respectivamente.

A continuación, en la figura M6.5. se puede ver la evolución de los componentes del biogás durante las fases de generación.

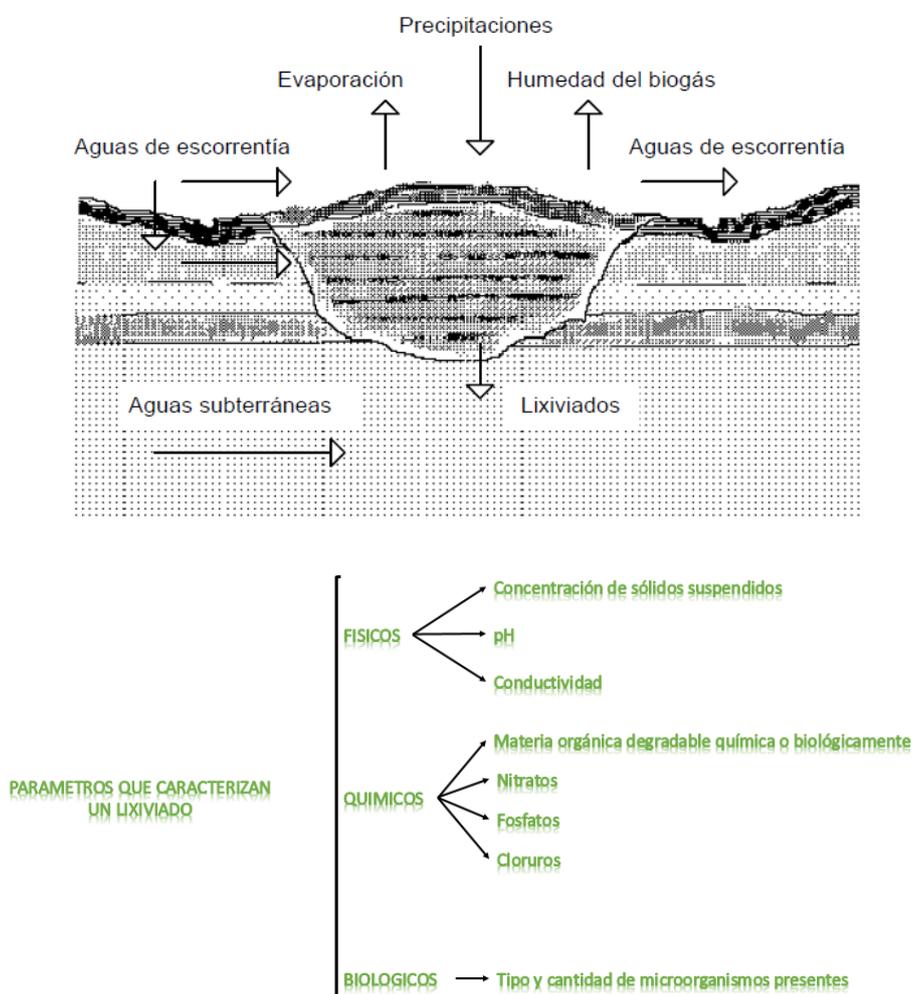
Figura M6.5. Evolución de la generación de gases en el tiempo vertedero.



6.3. Generación del lixiviado.

El lixiviado es un líquido que procede de la descomposición de la materia orgánica que contienen los residuos, pero el volumen en el que aparecen varía con ciertos factores como son la humedad que contienen los residuos y la cantidad de precipitaciones de la zona en la que se encuentra ubicado el vertedero. A causa de esta descomposición, la carga orgánica de los lixiviados es elevada (DQO y DBO₅ que es su principal factor contaminante), además extrae materiales disueltos o en suspensión. El lixiviado tiene un aspecto negro, fluido, con un fuerte y penetrante olor.

Figura M6.6. Formación y características del lixiviado.



6.3.1. Composición del lixiviado.

La composición varía entre vertederos distintos y con la edad del vertedero, ya que un vertedero nuevo producirá una mayor cantidad de lixiviado que uno maduro, porque la cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos solubles, así como microorganismos y sólidos suspendidos será mayor en el vertedero nuevo que en el viejo (Martín, 1997). En la tabla M6.5. se puede ver la diferencia entre un vertedero maduro y uno nuevo:

Tabla M6.5. Composición del lixiviado en vertederos jóvenes y viejos (Tchobanoglous, 1994).

Constituyente	Valor			
	Vertedero nuevo (menor de 2 años)			Vertedero maduro (mayor de 10 años)
	Uds.	Rango	Típico	
DBO₅	mg/l	2000 – 30000	10000	100 – 200
COT	mg/l	1500 – 20000	6000	80 – 160
DQO	mg/l	3000 – 60000	18000	100 – 500
Total de sólidos en suspensión	mg/l	200 – 2000	500	100 – 400
Nitrógeno orgánico	mg/l	10 – 800	200	80 – 120
Nitrógeno amoniacal	mg/l	10 – 800	200	20 – 40
Nitrato	mg/l	5 – 40	25	5 – 10
Total fosforo	mg/l	5 – 100	30	5 – 10
Ortofosfato	mg/l	4 – 80	20	4 – 8
pH	-	4,5 – 7,5	6	6,6 – 7,5
Calcio	mg/l	200 – 3000	1000	100 – 400
Magnesio	mg/l	50 – 15000	250	50 – 200
Potasio	mg/l	200 – 1000	300	50 – 400
Sodio	mg/l	200 – 2500	500	100 – 200
Cloro	mg/l	200 – 3000	500	100 – 400
Sulfatos	mg/l	50 – 1000	300	20 – 50
Total hierro	mg/l	50 - 1200	60	20 – 200

6.4. Sistemas de extracción

En los vertederos debe realizarse un control de las emisiones de los gases para reducirlas, para reducir los olores que se producen, evitar las migraciones de gas y poder recuperar energía a partir del metano. Los sistemas de control se dividen en 3 grupos: sistemas de control pasivos, sistemas de control activos y sistemas de extracción de gas.

Los sistemas de extracción de gas son en los que se centra el estudio que se está realizando, ya que este tipo de sistema permite realizar un control de los gases que se forman en el vertedero y su fácil extracción del depósito de rechazos.

6.4.1. Sistemas de control pasivos

- Ventilación para rebajar la presión/quemadores en la cobertura del vertedero.
- Zanjas perimetrales de intercepción.
- Zanja perimétrica barrera.
- Barreras impermeables dentro de los vertederos.

6.4.2. Sistemas de control activos

- Chimeneas para la extracción de gas y control de olores.
- Zanja perimétrica para la extracción del gas.
- Chimeneas perimétricas con inyección de aire.

6.4.3. Sistemas de extracción de gas

- Chimeneas verticales para extracción del gas.

Este tipo de chimeneas se instalan durante el llenado del vertedero o una vez terminado este proceso. El radio de influencia de las chimeneas depende de dos factores: el tipo de cobertura utilizada, la profundidad del vertedero.

Las chimeneas actúan de forma radial. Como se ha comentado en el párrafo anterior, el radio de influencia de las chimeneas depende del tipo de cobertura, por lo que una chimenea que se encuentre en un vertedero con cobertura mixta tendrá un radio de influencia de 50 a 65 metros. Si se encuentra en un vertedero con cobertura de arcilla el radio de influencia será de 25 o 30 metros (figura M6.7.).

Hay que tener cuidado en la instalación de las tuberías ya que no se pueden dejar huecos de captación de biogás, éste puede acumularse en forma de bolsas de gas pudiendo provocar explosiones por ser inflamable (Szantó, 2000).

Diseño:

Durante el llenado se colocan tuberías de acero con un diámetro de 45 a 90 centímetros. Dentro de esta se coloca una de tubería de 10 a 16 centímetros (PVC o PE). Se perfora un tercio de la tubería empezando por abajo y se coloca sobre un relleno de grava (figura M6.8.).

Figura M6.7. Disposición de las chimeneas de extracción de biogás.

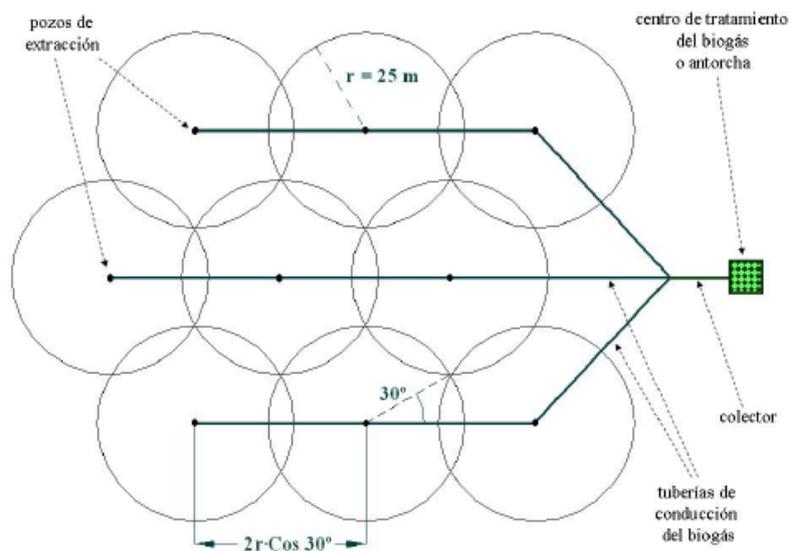
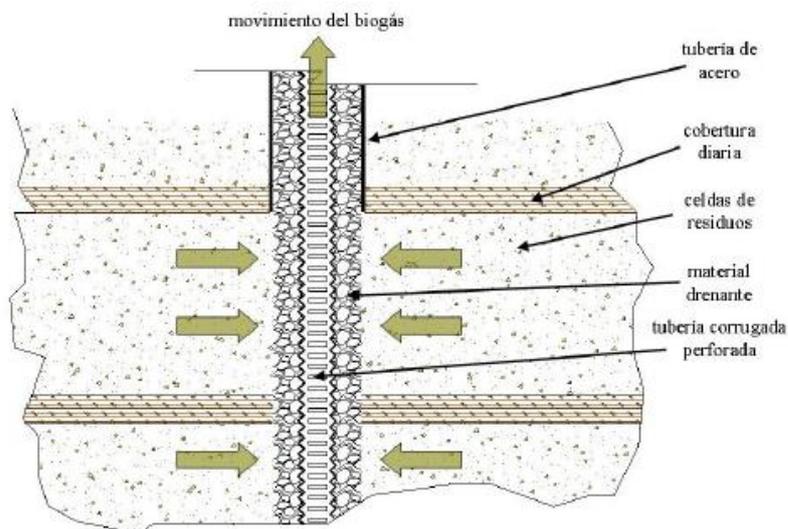


Figura M6.8. Estructura de las chimeneas verticales de extracción de biogás.



- Chimeneas horizontales para la extracción del gas.

Este tipo de chimenea se suele instalar cada uno o dos niveles de residuos depositados, para su colocación se excava una zanja, rellenándola con grava y al igual que en las chimeneas verticales se introduce una tubería perforada con juntas abiertas y se termina de cubrir con grava por encima, finalmente se siguen introduciendo capas de residuos (Tchobanoglous, 1994).

6.4.4. Sistemas de extracción de lixiviados

La extracción de lixiviados es necesaria por su acumulación en la parte más baja del vertedero. Como se ha comentado en el apartado 6.3 “Generación de lixiviados” de la presente memoria, los lixiviados son la descomposición de la materia orgánica (DBO₅ y DQO) y el arrastre de materiales disueltos o en suspensión, que son los principales factores contaminantes.

La extracción de lixiviados se puede diseñar de diversas formas:

- Terrazas inclinadas.

En este diseño se gradúa el fondo del vertedero en una serie de terrazas inclinadas. Estas terrazas consiguen que el lixiviado que se acumula en las terrazas se drene hacia los canales de recogida de lixiviado. En estos canales se colocan tuberías perforadas (Tchobanoglous, 1994).

- Fondo con tuberías.

La zona del fondo del vertedero se divide en una serie de celdas rectangulares con barreras de arcilla. En el interior de cada una de las celdas se colocan tuberías perforadas encima de la geomembrana (Tchobanoglous, 1994).

7. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA BIOCUBI.

Los residuos que son transportados a la planta de valorización están sometidos a un proceso de biosecado, a este proceso se le llama BIOCUBI. El objetivo de éste es reducir el porcentaje de humedad de los residuos para reducir los olores, y eliminar todas las enfermedades que transportan.

La parte más importante del tratamiento biológico reside en la eliminación de la fracción orgánica rápidamente degradable, esta fracción es capaz de fermentar aerobia y anaerobiamente, esto se debe a su riqueza en agua, carbono y sustancias nitrogenadas. El tratamiento biocubi se ha decidido realizarlo aerobiamente, de manera que los microorganismos que atacan los residuos se nutren de los componentes más digeribles produciendo calor con lo que ayuda a secar los residuos, además de higienizar el residuo y desodorizarlo.

El proceso es muy sencillo y se lleva a cabo dentro de una nave industrial, de unos 22 m de ancho, sometida a depresión, lo que evita la salida de los olores al exterior. En la figura M7.1. se puede ver el proceso por el que pasan los residuos:

Figura M7.1. Esquema del proceso de biosecado.



- **Recepción de los residuos.**

Los residuos llegan en camiones con pisos móviles, estos camiones provienen de las plantas de transferencia (figura M7.2.). En las plantas de transferencia se agrupa la basura de los diferentes municipios para que el transporte sea más fácil, están situadas en 3

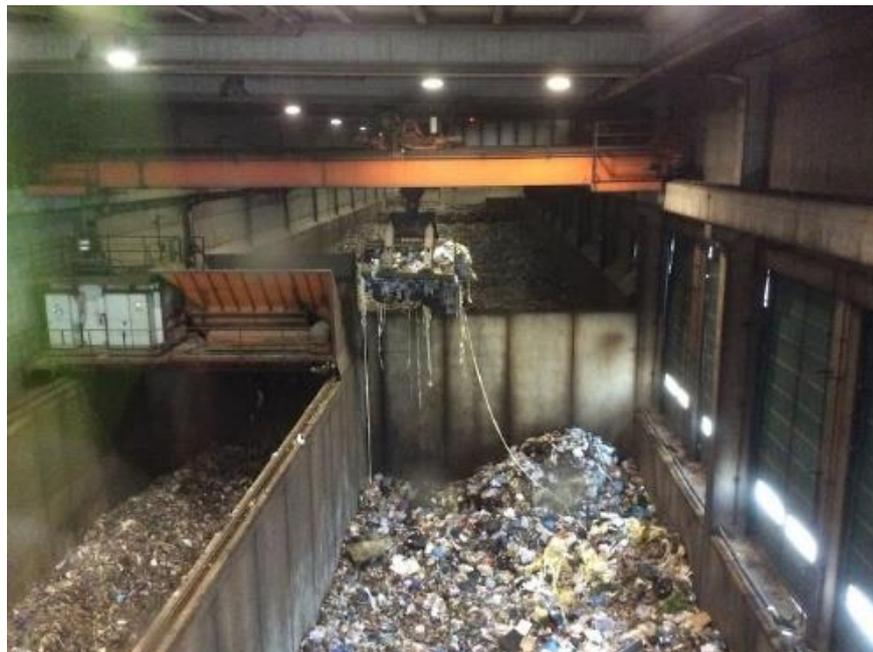
puntos estratégicos de la zona norte de Castellón (Benlloc, Morella, Villafranca). La deposición de los residuos se realiza en un foso de recepción, la capacidad del foso es la suficiente para un período de deposición de 2 – 3 días. A partir de este momento la manipulación de los residuos se realiza mediante puentes grúa.

- **Trituración.**

La fase de trituración se realiza siempre durante el día y bajo el control de un operario desde la sala de control, se realiza todo de manera automática pero si aparece algún material que podría dañar la trituradora el operario puede pasar a un control manual y extraer esos residuos.

La trituración, como se observa en la figura M7.3. se realiza para romper las bolsas y reducir el tamaño de los residuos, 20 – 30 centímetros, con la consiguiente homogeneización del material y favoreciendo la fermentación de la materia orgánica.

Figura M7.3. Foso de recepción y trituración previa al biosecado.



- **Estabilización y biosecado.**

Una vez triturados, los residuos se apilan en diferentes columnas con una altura de 5 – 6 metros. El incremento de temperatura producido por las reacciones de degradación aeróbica de la materia orgánica favorece la evaporación de una parte importante del agua que contienen. Además, a partir de unos ventiladores instalados bajo el piso de la nave,

se fuerza una corriente de aire que pasa a través de los residuos, lo cual aporta el oxígeno necesario y arrastra el vapor de agua generado. Con este procedimiento, los residuos se secan y se estabilizan.

Dependiendo del tipo de operación que se quiera realizar la duración del proceso variará. Por ejemplo, si se desea un biosecado para obtener CSR, los residuos permanecerán 14 días en la etapa de biosecado, una vez concluido este tiempo el agua del residuo se habrá evaporado y la reacción de fermentación se detendrá, por lo que tampoco desprenderá calor. De esta manera el poder calorífico inferior que se obtiene en los residuos será mejor. Si por el contrario el objetivo es bioestabilizar los residuos para llevarlos al vertedero, se operará para ralentizar la fermentación y alargar el tiempo de secado hasta agotar la materia orgánica de rápida degradación.

En esta parte del tratamiento también se producen lixiviados, que se recogen mediante una serie de colectores situados debajo de las pilas de residuos. Esto se consigue gracias a que el suelo del área de biosecado está formado por rejillas de hormigón que permiten el paso de la corriente y los lixiviados.

El parámetro más importante para determinar el caudal de aire necesario es la temperatura, ya que determina el funcionamiento de los ventiladores. Este aire que atraviesa los residuos pasa a una fase de tratamiento de gases llamada biofiltro.

- **Tratamiento de gases.**

El biofiltro actúa como un sistema biológico de depuración de gases (figura M7.4.). El aire que atraviesa los residuos arrastra compuestos contaminantes que deben ser depurados, esto se consigue haciendo pasar el aire por un lecho sólido donde se retienen los componentes contaminantes del gas que son degradados biológicamente por los microorganismos presentes en el lecho.

El material que retiene estos compuestos tiene un tamaño de un metro, es blando y poroso, de origen vegetal, el cual en condiciones controladas de humedad, pH, tiempo de contacto y nutrientes orgánicos e inorgánicos, consigue que los microorganismos metabolicen los contaminantes contenidos en el gas.

Figura M7.4. Biofiltro de la planta de tratamiento de Cervera del Maestre.



- **Afino.**

Esta fase depende de la utilización que se le vaya a dar al producto final obtenido. En esta etapa se extraen los metales que contiene el residuo mediante una cinta transportadora magnética (metales féreos) y un equipo de corrientes Foucault (Aluminio y metales no féreos).

Además, el residuo se pasa a través de varios trommels para extraer el compost y el afino de los materiales de un tamaño mayor y los inertes. Este afino se utiliza para cubrir las balas de material prensado que se introducen en el vertedero y rellenar los espacios entre ellas para conseguir una buena estabilidad del material y homogeneizarlo.

La mayor parte de residuos que llega al vertedero proviene del afino, una vez realizado el biosecado los residuos pasan a través de tres trommels, uno de un diámetro de 80 mm de paso, otro de 25 mm de paso y el último de 8 mm de paso. Los porcentajes se pueden observar en la figura M7.5. junto a la figura M7.6. que muestra los residuos que van a vertedero en forma de balas.

Figura M7.5. Cantidad de afino que proviene de las cribas de los trommels.

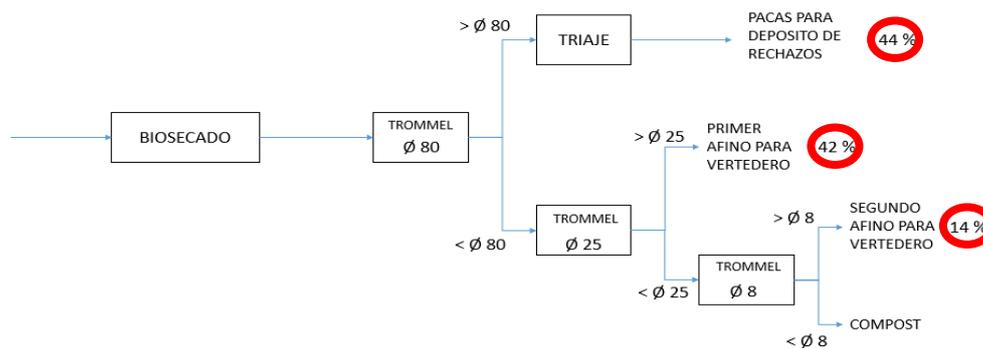


Figura M7.6. Residuos a la salida de la planta de tratamiento.



8. REQUISITOS DE DISEÑO

8.1. Localización

El emplazamiento previsto para la actuación se encuentra en el término municipal de Cervera del Maestre (Castellón), en el área denominada “Lo Pou de la Figuera” (figura M7.1.).

El área de actuación se encuentra en la parte Este-Noreste del término municipal de Cervera del Maestre (figura M8.1.). El acceso se realizará partiendo de la carretera CV-135, muy próxima al área de actuación, razón por la cual sólo se tendrá que acondicionar una pequeña parte del camino existente en la actualidad que parte de la CV-135 hasta la futura zona del Depósito de rechazos (figura M8.2.).

Figura M8.1. UTE zona 1 de la provincia de Castellón.



Figura M8.2. Localización del depósito de rechazos.



8.2. Geología

La zona de ubicación de la actuación se encuentra localizada en la hoja nº 571 de la serie MAGNA a escala 1/50000 , denominada “Vinaroz” Editada por el IGME..

En concreto el emplazamiento seleccionado queda enclavado en la zona cretácica de Cervera del Maestre, la cual está formada por una serie monoclinas de calizas, margas y margocalizas que constituyen el flanco meridional del Sinclinal de Traiguera, abarcando desde el Barremiense-Valanginiense hasta el Aptiense-Albense Inferior. La zona queda delimitada al Oeste y Este por las fallas de Salsadella y Santa Magdalena, estando cortada por numerosos accidentes catalanes sin salto importante.

Existen también algunos accidentes ibéricos, como la falla que en las proximidades de Cervera afecta al Bedouliense inferior, repitiendo parte de la serie.

Estratigráficamente, la zona objeto de estudio se encuentra situada básicamente sobre materiales del Cretácico inferior de edad Bedouliense basal (Aptiense); Se describe como un conjunto de entre 40 y 50 metros de margas y margocalizas con intercalación de niveles de calizas y margas arenosas. A techo de esta formación se encuentra el Bedouliense inferior constituido por un tramo de unos 50 metros de calizas micríticas fosilíferas y biopelsparitas oolíticas bien estratificadas en tramos de 0,50 a 1,0 metro de potencia. A muro del Bedouliense basal se encuentran estratigráficamente los materiales del Hauteriviense-Barremiense constituido por niveles de calizas masivas, con mayor o menor fracturación entre las que se intercalan niveles de margas y margocalizas.

8.3. Climatología

El área de Levante se encuentra situada según la clasificación climática de la Península Ibérica dentro de la zona Parda, definida por veranos poco lluviosos o secos, en la subzona Mediterráneo, donde el otoño es la estación más lluviosa. Para la clasificación de Köppen, según los datos climáticos de estaciones meteorológicas del entorno de la zona del Depósito, el mismo estaría enmarcado en la zona definida por las siglas “CSA”, Clima Templado Lluvioso con verano seco y caluroso.

8.4. Evolución temporal

El depósito de rechazos de Cervera del maestre se empezó a llenar en 2012. El vertedero consta de 3 celdas de vertido. En un principio sólo se excavaron las celdas 1 y 2. A la celda 1 se le instaló el sistema de extracción de lixiviados y la impermeabilización del vaso para poder empezar a depositar los rechazos de la planta. Esta fase ha durado alrededor de 3 años. A continuación, la figura M8.3. muestra imágenes la fase de llenado de la celda 1.

Figura M8.3. Evolución de la celda 1 del depósito de rechazos.



Una vez se terminó de llenar la celda 1 se realizó un presellado colocando una capa de 50 cm de espesor de arcilla con una alta impermeabilidad. Durante el llenado de la celda 1 se excavó la celda 3 para tenerla lista una vez se sellara la celda 1.

Para empezar la deposición de rechazos en las celdas 2 y 3 se actuó de la misma manera que en la celda 1. Se instaló el sistema de recirculación de lixiviados junto a la impermeabilización del vaso del vertedero (figura M8.4.). En estos momentos se están llenando las celdas 2 y 3 desde el año 2015.

Figura M8.4. Inicio de llenado de la celda 2 del depósito de rechazos.



8.5. Caracterización de los residuos

La Planta de Tratamiento de Cervera del Maestre recibirá los residuos urbanos domiciliarios generados en el ámbito del Plan Zonal I, los cuales serán descargados en la propia planta o vendrán provenientes de las 3 estaciones de transferencia previstas.

Los procesos llevados a cabo en la planta de tratamiento permiten la recuperación de fracciones valorizables presentes en los residuos (plásticos, metales, papel-cartón, etc.), y valorizan la materia orgánica de los residuos urbanos en forma de compost.

Los rechazos generados tras estos procesos son transportados al depósito de rechazos para su eliminación en forma de vertido controlado.

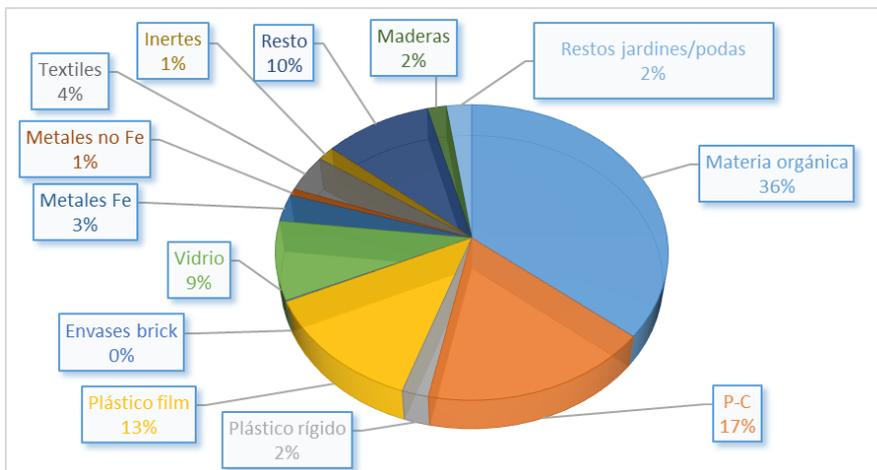
La caracterización del rechazo de salida de la planta de tratamiento, y por tanto de entrada en el depósito de rechazos, depende de la cantidad y naturaleza de los residuos de entrada.

La tabla M8.1. y la figura M8.5. muestra la caracterización promedio de entrada a la planta de tratamiento:

Tabla M8.1. Caracterización promedio de los RSU que llegan a la planta de tratamiento.

Fracción	Global (%)
Materia orgánica	35,89
P-C	17,33
Plástico rígido	2,01
Plástico film	12,90
Envases brick	0,13
Vidrio	8,60
Metales Fe	3,00
Metales no Fe	0,72
Textiles	4,09
Inertes	1,58
Resto	9,75
Maderas	1,72
Restos jardines/podas	2,29

Figura M8.5. Gráfico de la caracterización promedio de los residuos que llegan a la planta de tratamiento.

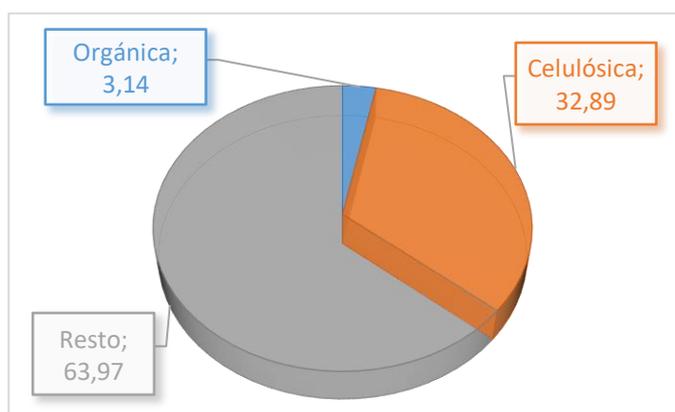


A continuación se muestra la tabla M8.2. y la figura M8.6. que define la caracterización de los residuos que llegan al vertedero.

Tabla 8.2. Caracterización de los residuos que llegan a vertedero.

FRACCION	% PESO
Orgánica	3,14
Celulósica	32,89
Resto	63,97

Figura M8.6. Caracterización del residuo que llega a vertedero.



8.6. Caracterización de los lixiviados

Como ya se ha comentado anteriormente, la composición del lixiviado es una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, y que varía entre distintos vertederos y su edad.

En el caso del vertedero de Cervera, es un vertedero joven al que los residuos llegan con un porcentaje de humedad muy bajo debido al proceso al que se someten en la planta de tratamiento. Se halla aislado en una zona definida como, Clima Templado Lluvioso con verano seco y caluroso.

A continuación en la tabla M8.3. se puede ver la composición de los lixiviados producidos en el vertedero de Cervera:

Tabla M8.3. Caracterización de los lixiviados que se generan en el vertedero.

Parámetro	Unidades	PROMEDIO			PROMEDIO TOTAL
		Fecha 2014	Fecha 2015	Fecha 2016	
pH	uds	8,375	8,100	8,100	8,192
Conductividad eléctrica	µS/cm	11885,000	8842,500	7330,000	9352,500
Sólidos suspendidos	mg/l	755,250	428,000	349,000	510,750
As	mg/l	0,060	0,050	0,050	0,053
Ba	mg/l	0,213	0,355	0,210	0,259
B	mg/l	2,000	1,550	1,200	1,583
Cd	mg/l	0,010	0,010	0,010	0,010
Cr total	mg/l	0,613	0,458	0,300	0,457
Cr VI	mg/l	0,225	0,113	0,002	0,113
Cu	mg/l	0,072	0,034	0,025	0,044
Hg	mg/l	0,004	0,003	0,001	0,002
Mo	mg/l	0,010	0,010	0,010	0,010
Ni	mg/l	0,235	0,183	0,110	0,176
Pb	mg/l	0,019	0,013	0,010	0,014
Sb	mg/l	0,050	0,050	0,050	0,050
Se	mg/l	0,050	0,050	0,050	0,050
Zn	mg/l	0,263	0,320	0,090	0,224
Índice de fenoles	mg/l	0,400	0,675	1,500	0,858
Cloruros	mg/l	1889,500	1542,750	1013,000	1481,750
Fluoruros	mg/l	0,263	0,325	1,000	0,529
Sulfatos	mg/l	22,500	55,500	7,700	28,567
Nitrógeno total	mg/l	647,500	521,750	286,000	485,083
Fósforo total	mg/l	11,750	8,075	5,300	8,375
Aceite mineral (C10-C40)	mg/l	52,667	75,000	75,000	67,556
COT	mg/l	1905,000	1296,500	954,000	1385,167
DBO5	mg/l	450,000	547,500	600,000	532,500
DQO	mg/l	5827,500	5095,000	3240,000	4720,833

8.7. Sistema de extracción de biogás.

La infraestructura de captación de biogás está compuesta por una red de extracción vertical que va recreciéndose en cada una de las fases y una horizontal dispuesta en el fondo del vaso y en la segunda fase de explotación para permitir una desgasificación completa de la instalación.

Se han instalado pozos de recogida de biogás, formados por tubos metálicos de 6 m de longitud y 600 mm de diámetro insertados en el vertido y que se irán recreciendo fase a fase. En el interior del pozo se coloca una tubería ranurada de PEAD de diámetro 110 mm, compuesta de tubos en tramos de 3 m unidos entre sí. El hueco existente entre el tubo de polietileno y la pared del sondeo se rellenará con material granular o bolos (figura M8.7.). Las camisas metálicas, dotadas de orejetas para este fin, se irán extrayendo y rellenando a medida que se recrece el depósito de rechazos. Una vez esta conducción ha superado la masa de vertido y se procede al sellado, se inicia el tramo horizontal de esta red de extracción.

Será necesario ir tapando, por la parte superior en contacto con la atmósfera, la red vertical de extracción de biogás, para que de esta manera no se emita biogás al exterior de la masa de residuos. Los pozos verticales se unirán con tuberías ciegas de Ø110mm que conectarán cada uno de los mismos hasta la antorcha.

Figura M8.7. Instalación de las tuberías para extracción del biogás.



8.8. Sistema de extracción de lixiviados.

La red de evacuación de lixiviados se diseña como una típica espina de pez con un ramal principal, ramales secundarios y ramales terciarios (figura M8.8.). Cada celda de vertido tiene su propia red de evacuación de lixiviados. El ramal principal confluye en el punto más bajo de la celda de vertido. Está formada por tuberías ranuradas y metidas en zanja y rellenas de material drenante (gravas fundamentalmente) en toda la superficie con diámetros de 315 y 250 mm respectivamente, en función del caudal a transportar y según lo especificado en el documento Planos. Las pendientes de desagüe tendrán un valor mínimo del 2% transversal y 1% longitudinal.

Los lixiviados serán canalizados por gravedad a través de la capa de drenaje de lixiviados hasta una arqueta situada en el fondo de cada celda y rellena y protegida mediante gravas. Dicha arqueta, permite la entrada del lixiviado para su posterior extracción por bombeo a través de una tubería de PEAD de 32 mm de diámetro y el colector de 40 mm de diámetro hasta la balsa de recogida de lixiviados. Los tubos de impulsión de las bombas se protegerán en el talud mediante un tubo de hormigón armado de 300 mm de diámetro que irá perforado en el tramo de gravas.

La balsa de lixiviados de Cervera del Maestre se puede ver en la figura M8.9.:

Figura M8.8. Disposición de la red de tuberías para evacuación de lixiviados, en forma de espina de pescado, con la pendiente suficiente para que las diferentes tuberías desemboquen en un colector general que transporte los líquidos a la balsa de lixiviados.

(Fuente: por cortesía de Sociedad de Agricultores de la Vega, S.A.)



Figura M8.9. Balsa de lixiviados del vertedero
de Cervera del Maestre.



8.9. Capas de impermeabilización

Las capas de impermeabilización es una de las partes más importantes del vertedero, ya que son las que se encargan de que no se filtren los lixiviados ni los gases a las aguas subterráneas, consiguiendo no contaminarlas. También evita que las aguas freáticas entren en la masa de residuos.

Está compuesto por seis capas de impermeabilización y una malla de detección de fugas. De esta forma se consigue sellar el vaso por completo y a su vez, se podría detectar de manera casi exacta cualquier fuga que se produzca. A continuación se describen todas las capas.

- Capa mineral impermeable.

La capa está formada por material arcilloso, el cual tiene un espesor de 50 cm. La capa sirve como barrera geológica natural, y se ha utilizado para regularizar el terreno donde se ha instalado el geo compuesto. En los taludes no se coloca la arcilla, en su lugar hay un geo compuesto bentonítico.

- Geotextil de polipropileno no tejido CBR 6.200 N.

La función del geotextil es proteger la lámina impermeable superior de posibles perforaciones que puedan producir los materiales del terreno. Por tanto, consigue alargar la vida útil del revestimiento artificial, y reduce el riesgo de rotura, y por tanto de emisión de lixiviados o gases al suelo.

- Malla de detección de fugas.

La malla se instala para asegurar la calidad del sistema de impermeabilización. Ubicado en el fondo del vertedero y los taludes, justo debajo de la lámina de PEAD de 2 mm.

El sistema de control de fugas se basa en efectuar mediciones eléctricas bajo la geo membrana de PEAD mediante detectores, analizando e interpretando los datos recogidos para determinar el punto exacto de una avería en la instalación.

- Revestimiento artificial impermeable.

El revestimiento artificial es una lámina de PEAD de 2 mm de espesor, esta lámina es la principal barrera al avance de los lixiviados, recogéndolos para su extracción. Está colocada en el fondo y los taludes de vertedero.

- Geotextil de polipropileno no tejido CBR 7.800 N.

La función del geotextil es proteger la lámina impermeable inferior de posibles perforaciones que puedan producir la grava de drenaje que se coloca encima. Por tanto, consigue alargar la vida útil del revestimiento artificial, y reduce el riesgo de rotura. Está colocada únicamente en el fondo del vertedero.

- Gravas de drenaje.

La última capa está compuesta por árido silíceo de tamaño 20-40 mm, el espesor será de 50 cm en todos los puntos.

En las zonas de talud inferiores, esta capa está sustituida por un geo compuesto drenante, dadas las dificultades constructivas, que a su vez hace la función de protector de la lámina de PE, sobre la cual no se ha colocado geotextil de protección.

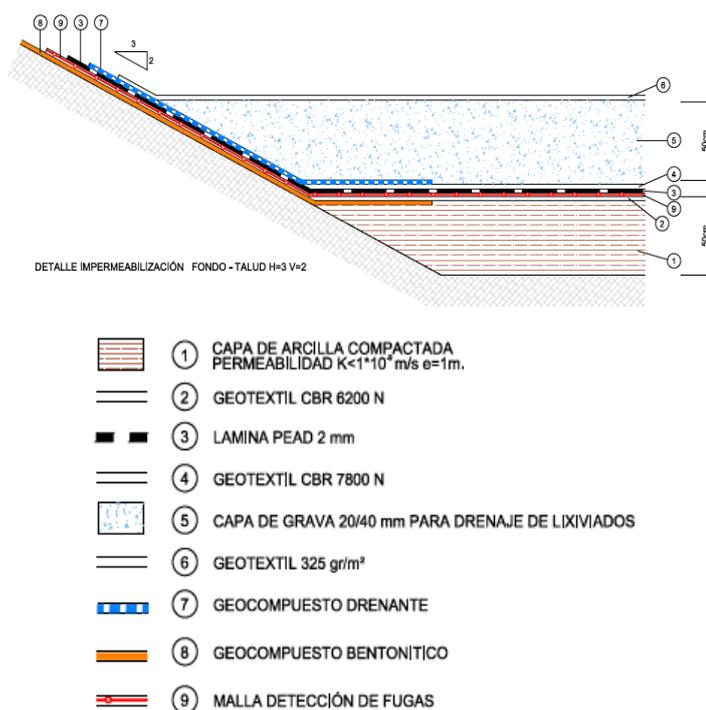
- Geotextil de filtro 325 g/m².

El geotextil como sistema de filtración está colocado entre el material a drenar (residuos) y el material de drenaje para evitar la erosión interna del suelo debido al flujo de agua en el suelo, y el riesgo de colmatación de la estructura de drenaje por los residuos.

Tiene una adecuada abertura de poros y un número óptimo de constricciones las cuales forman un filtro granular estable eliminando el riesgo de colmatarse o bombearse, es suficientemente flexible para forzar un contacto íntimo con el suelo, y tiene una alta permeabilidad que permite que el agua pase a través de él.

La figura M8.10. muestra las diferentes capas de impermeabilización descritas en el apartado:

Figura M8.10. Capas de impermeabilización del vertedero de Cervera del Maestre.



8.10. Capas de sellado.

El sellado del vertedero se realiza por dos razones de peso, la primera de ellas es que se quiere evitar que se generen lixiviados a causa de las lluvias, con lo que se quiere impermeabilizar este, la segunda razón es que al igual que no quieren que entre agua,

tampoco se quiere que se produzcan migraciones a la atmosfera, ya que supone contaminarla.

Las capas de sellado descritas a continuación son para cuando el vertedero esté lleno por encima de cota:

- Capa de regularización de 50 cm de espesor.

Se admitirá la extensión de residuos en masa, llamados granel, para relleno de huecos y formación de pendientes.

- Capa drenaje de gases 30 cm de espesor de grava.

Será una capa de grava de 0,30 metros de espesor como mínimo, para el drenaje del gas.

- Capa de geotextil 300 g/m².

Su función es evitar la colmatación de las gravas por arrastre de finos.

- Capa mineral impermeable de 50 cm de espesor.

La función de esta capa es tratar de aislar los residuos. Por una parte, debe impedir que los gases generados escapen libremente a la atmósfera, facilitando su recogida. Por otra parte, constituir una barrera impermeable para evitar la penetración de las aguas pluviales posteriormente al sellado.

La capa mineral impermeable estará constituida por material arcilloso compactado, con un espesor mínimo de 0,50 metros.

- Capa filtrante mediante geotextil 300 g/m².

Su función es proteger la capa de arcillas de las gravas de drenaje dispuesta en su parte superior.

- Capa de drenaje de pluviales de 30 cm de espesor de grava.

Será una capa de grava de 0,30 metros de espesor como mínimo. Su granulometría permitirá que las aguas pluviales puedan circular por ella para finalmente ser recogidas en los puntos de drenaje, sin que entren en contacto con los residuos vertidos.

- Capa filtrante mediante geotextil 300 g/m².

Su función es evitar la colmatación de las gravas por arrastre de finos.

- Cobertura de tierra superior de espesor 1 m.

Sobre el geotextil filtrante se extenderá una capa de tierra de 1 m de espesor, que estará constituida por las siguientes capas:

- Capa inferior, formada por 80 cm de tierra agrónomicamente apta.
- Capa superior de 20 cm de espesor formada por tierra agrónomicamente apta con aportación de fertilizantes y materia orgánica.

Esta capa de tierra se colocará en toda la superficie del vertedero una vez sellado, tanto en la plataforma superior como en los taludes laterales, con la finalidad de servir de soporte a la vegetación que finalmente se implantará.

8.11. Estabilidad de los taludes

La estabilidad de los taludes es uno de los principales problemas geotécnicos de los vertederos, ya que dentro del vertedero se producen reacciones anaerobias que transforman la materia orgánica, como resultado de esto se producen asentamientos, estos asentamientos pueden originar deslizamientos en los taludes.

En vertederos en altura se presentan dos tipos de rotura circular:

- Cuando el relleno de residuos es inestable, el deslizamiento ocurre en el talud del depósito, con círculos de rotura que pueden ser superficiales de pie o de talud.
- Cuando el depósito tiene una altura excesiva y está cimentado sobre arcillas blandas, se puede producir una rotura general del suelo blando de cimentación causando una superficie de rotura de círculo profundo.

La estabilidad de los taludes del depósito se ha comprobado empleando 3 métodos habituales de mecánica de suelos: Ordinary, Bishop, y Janbu, los cuales suponen una superficie de deslizamiento circular. La tabla M8.4. muestra el factor de seguridad del vertedero.

Tabla M8.4. Factor de seguridad para la estabilidad
de los taludes del vertedero.

FACTOR DE SEGURIDAD (s/u)	
Vaso vacío	1,4706
Vaso lleno	2,1197

En general se consideran adecuados para estabilidad de taludes coeficientes de seguridad mínimos del orden de 1,3 a 1,5. En condiciones excepcionales de inundación, riesgo sísmico, etc., un coeficiente de seguridad mínimo de 1,2 y 1,3 es generalmente aceptado.

Según los resultados obtenidos, considerando el riesgo sísmico, se podría afirmar que la estabilidad de los taludes del depósito está garantizada.

9. ANALISIS DE SOLUCIONES

En el presente apartado se realizará el estudio de viabilidad para la producción de biogás, el cálculo de la cantidad de lixiviados/agua necesarios para alcanzar la producción óptima de biogás junto con el dimensionamiento del sistema de recirculación y el periodo de tiempo que tendrá que transcurrir entre adición de lixiviados/agua.

9.1. Estudio de producción de biogás

Para la realización del estudio de producción de biogás se ha utilizado el programa LandGem. Este programa permite simular la cantidad de biogás que se producirá en el vertedero a diferentes condiciones, en concreto a dos: a condiciones actuales y como si se hubiera instalado un biorreactor para aumentar la producción de biogás.

El programa utiliza el modelo que está basado en una ecuación de primer orden, el cual viene definido por la ecuación (1):

$$Q_{CH_4} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (1)$$

Donde,

- Q_{CH_4} : generación anual de metano en el año de cálculo ($m^3/año$)
- i : incrementos de 1 año
- n : (año de cálculo)-(año de inicio de disposición de residuos)
- j : incrementos de 0,1 año.
- L_0 : Potencial de generación de metano (m^3/Mg)
- k = tasa de generación de metano ($año^{-1}$)
- M_i = cantidad de residuos aceptados en el año “i” (toneladas)
- t_{ij} = edad de la sección “j” de residuos “Mi” aceptados en el año “i”

El programa requiere de varios datos de entrada. Los valores de los datos han sido definidos en el anexo nº 1 “*estudio de la producción de biogás*”. Cada uno de los valores ha sido determinado acorde con los datos obtenidos del vertedero de Cervera del Maestre y las demandas de las variables. Los datos introducidos se pueden ver en la tabla M8.1.:

Tabla M9.1. Datos de entrada del programa LandGEM

LANDFILL CHARACTERISTICS		
Landfill Open Year	2012	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030	
Actual Closure Year (without limit)	2030	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		megagrams
MODEL PARAMETERS		
Methane Generation Rate, k	0,020	year ⁻¹
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	100	m ³ /Mg
NMOC Concentration	600	ppmv as hexane
Methane Content	40	% by volume
GASES / POLLUTANTS SELECTED		
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas	
Gas / Pollutant #2:	Methane	
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #4:	NMOC	
WASTE ACCEPTANCE RATES		
Year	(Mg/year)	(short tons/year)
2012	31.060	34.166
2013	29.207	32.128
2014	29.207	32.128
2015	29.207	32.128
2016	27.170	29.887
2017	27.170	29.887
2018	27.170	29.887
2019	27.170	29.887
2020	27.170	29.887
2021	25.110	27.621
2022	25.110	27.621
2023	25.110	27.621
2024	25.110	27.621
2025	25.110	27.621
2026	25.110	27.621
2027	25.110	27.621
2028	25.110	27.621
2029	25.110	27.621
2030	25.110	27.621

Estos datos simulan la producción de biogás en las condiciones actuales a las que se encuentra el vertedero, pero el estudio se centra en optimizar la producción de biogás, por lo que los valores de las condiciones normales los se compararán con la opción que nos proporciona el LandGem. Esta opción simula el comportamiento de un biorreactor potenciando la producción de biogás. Los datos que se introducen en el programa son los que contiene la tabla M8.2.:

Tabla M9.2. Datos de entrada del programa LandGEM (Biorreactor).

LANDFILL CHARACTERISTICS		
Landfill Open Year	2012	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030	
Actual Closure Year (without limit)	2030	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		megagrams
MODEL PARAMETERS		
Methane Generation Rate, k	0,700	year ⁻¹
Potential Methane Generation Capacity, L _o	96	m ³ /Mg
NMOC Concentration	600	ppmv as hexane
Methane Content	40	% by volume
GASES / POLLUTANTS SELECTED		
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas	
Gas / Pollutant #2:	Methane	
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #4:	NMOC	
WASTE ACCEPTANCE RATES		
Year	(Mg/year)	(short tons/year)
2012	31.060	34.166
2013	29.207	32.128
2014	29.207	32.128
2015	29.207	32.128
2016	27.170	29.887
2017	27.170	29.887
2018	27.170	29.887
2019	27.170	29.887
2020	27.170	29.887
2021	25.110	27.621
2022	25.110	27.621
2023	25.110	27.621

2024	25.110	27.621
2025	25.110	27.621
2026	25.110	27.621
2027	25.110	27.621
2028	25.110	27.621
2029	25.110	27.621
2030	25.110	27.621

Los resultados de las figuras M9.1. y M9.2. se muestran en megagramos por año (toneladas) y en metros cúbicos por año. El contenido de estas gráficas está constituido por la cantidad de gases de vertedero totales que se generan, de los cuales también son representados los dos más importantes, el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), y el resto de los gases que son los agrupados como COVNM.

Dichas figuras M9.1. y M9.2. muestran la evolución de los gases de vertedero totales y la cantidad de metano que se produce dentro del vertedero, a condiciones normales y condiciones de biorreactor.

Figura M9.1. Producción de biogás en megagramos. Representación de la totalidad de los residuos que se depositarán.

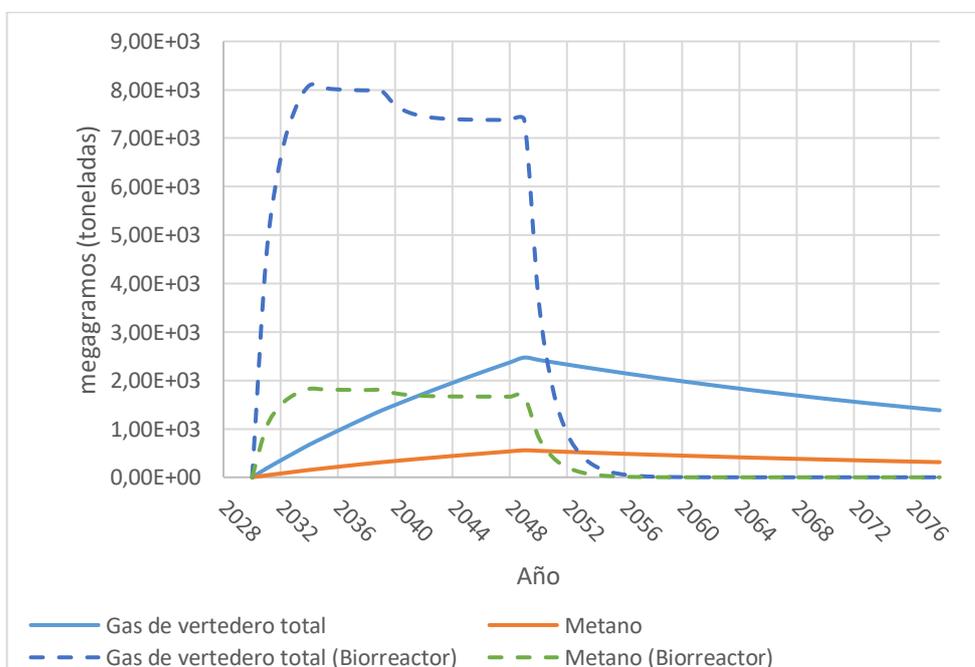
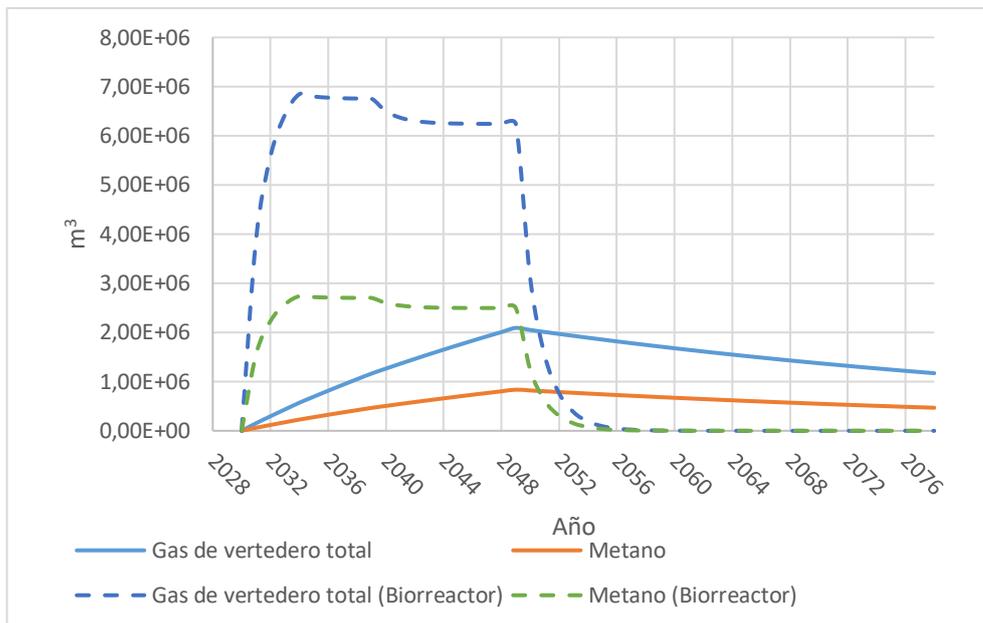


Figura 9.2. Producción de biogás en m³. Representación de la totalidad de los residuos que se depositarán.



El resultado que se obtiene a partir del programa es aproximado, esto se debe a que los residuos que son depositados en el vertedero han sido sometidos a un tratamiento previo llamado biosecado, explicado en el apartado 7 “*Descripción de la planta biocubi*” de la memoria. Con este tratamiento la materia orgánica de rápida degradación se descompone y es separada del resto de residuos, de manera que al vertedero llega un porcentaje muy bajo de materia de biodegradación rápida.

Cómo se conocen las caracterizaciones de entrada y salida de los rechazos de la planta de tratamiento se establece un factor de corrección para obtener una producción aproximada a la real. La tabla M9.3. muestra los porcentajes de materia biodegradable antes y después del tratamiento.

Tabla M9.3. Factor de corrección para la producción de biogás.

	Antes del tratamiento (%)	Después del tratamiento (%)
Materia biodegradable	57,36	36,03
Resto	42,64	63,97

El factor de corrección obtenido entre la relación de los porcentajes es un 63%. Por lo que la cantidad real de biogás producida será el 63% del valor del LandGEM.

Se debe tener en cuenta también que la cantidad de residuos que se ha introducido en el LandGEM, es la estimada por el vertedero para rellenar el vaso desde el fondo del vaso hasta cota cero y por encima de cota. El estudio de producción de biogás está contemplado para el llenado hasta cota cero. Por este motivo se ha calculado el porcentaje para que los resultados se refieran hasta cota cero. El cálculo ha dado como resultado que el 68% de residuos que se introducen en el vertedero son los que hay hasta cota cero.

Las figuras M9.3. y M9.4. muestran el resultado de las gráficas después de la corrección.

Figura M9.3. Producción de biogás en mega gramos.
Representación de los residuos hasta cota cero.

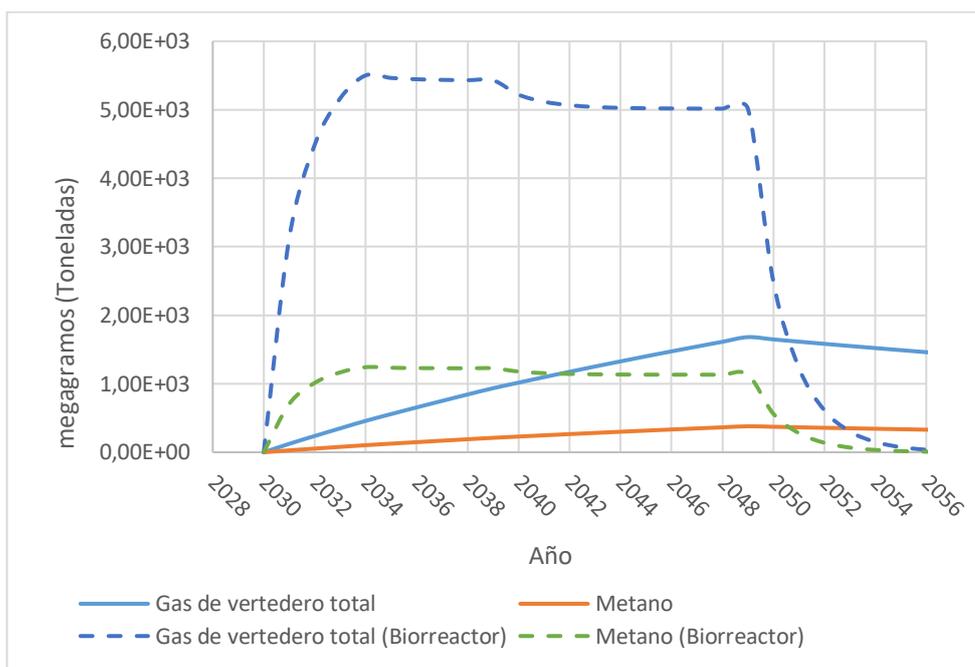
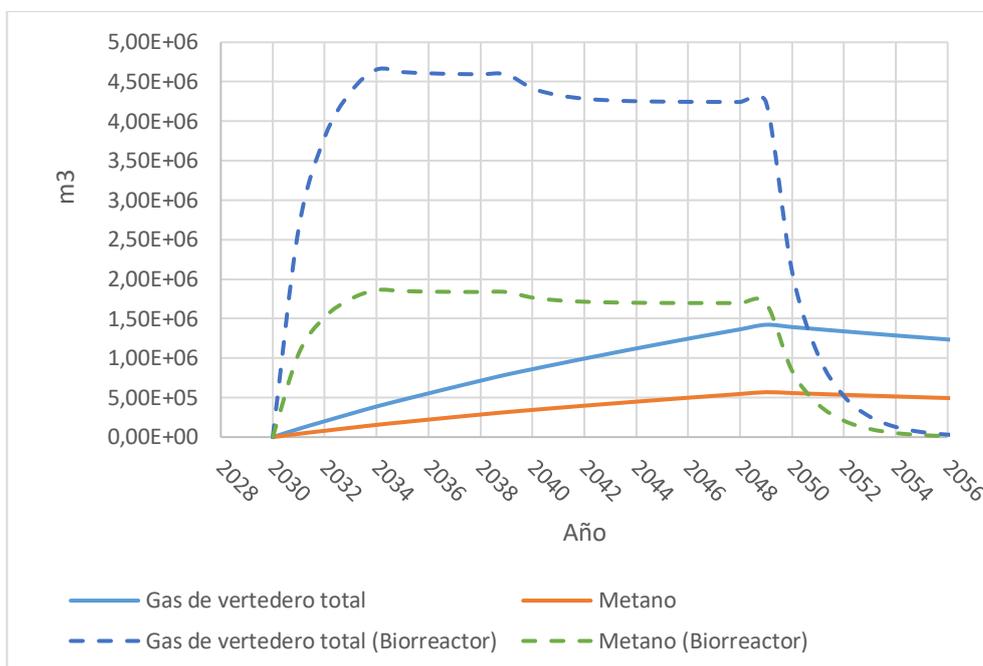


Figura M9.4. Producción de biogás en mega gramos.

Representación de los residuos hasta cota cero.



Los resultados de las gráficas muestran una producción alta de biogás por lo que a simple vista se puede afirmar que el proceso de producción de biogás es viable.

9.2. Cálculo de la cantidad de lixiviado/agua a añadir

En éste apartado se hablará del grado de humedad necesario para la producción máxima de biogás. La finalidad es conseguir una mejor comprensión del estudio realizado, sobre todo a la hora de escoger los valores de los parámetros de entrada.

Los residuos que llegan al depósito de rechazos de Cervera del Maestre, lo hacen en unas condiciones determinadas que se consiguen haciendo pasar estos residuos por un tratamiento biológico denominado biosecado, el cual forma parte de proceso mecánico-biológico-mecánico BIOCUBI descrito en el apartado 7 “*Descripción de la planta BIOCUBI*” de la memoria.

El factor más afectado por este proceso es la humedad que contienen los residuos. Con el tratamiento es el factor que se pretende controlar para favorecer el proceso de degradación de la materia orgánica que hay en los residuos. Además, con el tratamiento se consigue reducir los olores que desprenden los RSU y se consiguen unas condiciones de trabajo más salubres.

La eficacia del proceso se puede ver en las tablas M9.4. y M9.5.:

Tabla M9.4. Humedad de entrada de los residuos a la planta de tratamiento.

	MAYO %	JULIO %	NOVIEMBRE %	PROMEDIO %
2013	24,2	41,8	86,5	50,83
2014	36,6	45,2	16,84	32,88
2015	54,5	30	21	35,17
			PROMEDIO TOTAL	39,62%

Tabla M9.5. Humedad de salida de los residuos de la planta de tratamiento.

	MAYO %	JULIO %	NOVIEMBRE %	PROMEDIO %
2013	6,8	13,9	12,6	11,1
2014	25,4	34,84	11,12	23,79
2015	11,1	10	12,3	11,1
			PROMEDIO TOTAL	15,33%

9.2.1. Capacidad de campo

Las propiedades de los residuos están divididas propiedades físicas y propiedades químicas. Todas las propiedades afectan en mayor o menor medida a la creación de biogás, pero concretamente dos propiedades físicas son las que afectan más significativamente a la producción de biogás, estas son la capacidad de campo y el grado de humedad de los RSU.

La capacidad de campo de los residuos sólidos es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. La capacidad de campo varía principalmente en función del grado de compresión de los residuos y el grado de descomposición (Wu et al., 2012).

A partir de la información de los apartados anteriores se calculará el máximo grado de humedad que los RSU pueden obtener. La obtención del grado de humedad se calculará a partir de la cantidad de agua necesaria para que los residuos consigan llegar a la máxima capacidad de campo. Ésta varía con la densidad, que será distinta a diferentes profundidades del vertedero.

En esta parte el cálculo no es un cálculo real, ya que los datos utilizados son suposiciones que se determinan a través de datos encontrados en bibliografía, de manera que estas suposiciones se acerquen en la medida de lo posible a la realidad de lo que sería el vertedero de Cervera del Maestre. En el presente apartado se muestran los cálculos realizados y las explicaciones de los mismos.

9.2.2. Cálculo de la capacidad de campo máxima.

Este cálculo se realiza a partir de la ecuación (2), que se define en el anexo nº 2 “*Humedad requerida en la producción de biogás*”, que relaciona la densidad con la capacidad de campo, el valor obtenido es la capacidad de campo máxima de los RSU a una densidad concreta.

Cada celda será dividida en tres niveles: nivel 1 (Inferior), nivel 2 (Intermedio) y nivel 3 (Superior), de manera que se pueda repartir todo el lixiviado y agua homogéneamente. De esta manera se han calculado tres densidades diferentes para cada una de las zonas y así obtener las diferentes capacidades de campo de cada una de ellas.

Los resultados se muestran en la tabla M9.6:

$$CC_{m\acute{a}x} = -0.699 * \rho_{RSU} + 1.145 \quad (2)$$

Tabla M9.6. Capacidad de campo a diferentes densidades.

Niveles	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
ρ_{RSU} (t/m ³)	0,71	0,57	0,45
$CC_{m\acute{a}x}$ (kg agua/kg m.s.)	0,649	0,747	0,830

9.2.3. Cálculo de la cantidad de lixiviados/agua necesaria para los residuos.

Los datos obtenidos en el apartado anterior que indican la capacidad de campo máxima para cada una de las zonas del vertedero, junto con el contenido en agua que tienen actualmente proporcionan los kg de agua por kg de masa seca que se debe introducir en el vertedero para conseguir la producción óptima de biogás.

Los RSU del vertedero de Cervera del Maestre contienen un 15,33% de humedad, esto significa que contienen 15,33 kg de agua por cada 100 kg de masa húmeda, es equivalente a 15,33 kg de agua por cada 84,67 kg de masa seca.

Dividiendo los 15,33 kg de agua por los 84,67 kg de masa seca se obtiene los kg de agua por kg de masa seca que contiene actualmente el vertedero.

$$\text{Humedad actual: } \frac{15,33 \text{ Kg agua}}{100 \text{ Kg m.h.}} = 0,1533 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg m.h.}}$$

Cantidad de agua que contienen los residuos en base seca:

$$\frac{15,33 \text{ Kg agua}}{84,67 \text{ Kg m. s.}} = 0,176 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg m. s.}}$$

A continuación, con el dato anterior y las capacidades de campo máximas se calcula la cantidad de agua que se debe añadir a cada una de las zonas para obtener la producción de biogás máxima (ecuación (3) y tabla M9.7.):

$$\text{Cantidad de lixiviados/agua a añadir} = CC_{\text{máx}} - \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg m.s.}} \text{ de los RSU} \quad (3)$$

Tabla M9.7. Capacidad de campo que necesitan los RSU en cada nivel.

	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1
ρ_{RSU} (t/m ³)	0,71	0,57	0,45
Razón másica de lixiviados/agua a añadir (kg agua/kg m.s.)	0,473	0,571	0,654

A partir de los valores obtenidos y las siguientes ecuaciones se pueden calcular los litros de lixiviados/agua que son necesarios para conseguir llegar a la capacidad de campo máxima.

$$V_{RSU} = d * L * h \quad (4)$$

$$\text{Peso}_{RSU} = V_{RSU} * \rho_{RSU} \quad (5)$$

$$\text{Peso}_{\text{lixiviados/agua}} = \text{Peso}_{RSU} * \text{Cantidad de lixiviados/agua a añadir} \quad (6)$$

Para comenzar el cálculo se debe conocer el volumen de residuos por cada una de las zonas a las que se les añadirá lixiviado/agua. El valor del volumen del depósito se obtiene a partir de los planos aportados por la empresa BIONORD, en estos aparecen las diferentes superficies de los depósitos y, junto con la herramienta AutoCAD, se puede calcular el volumen de las zonas de los niveles (tabla M8.7. y M8.8.).

Tabla M9.8. Volumen de los niveles de la celda 1.

Volumen residuos (m ³)		
CELDA 1	Nivel 1	14.815,824
	Nivel 2	48.989,898
	Nivel 3	81.199,337

Tabla M9.9. Volumen de los niveles de la celda 2 y 3.

Volumen residuos (m ³)		
CELDA 2 y 3	Nivel 1	15.567,349
	Nivel 2	45.466,507
	Nivel 3	78.712,473

A partir del volumen es posible calcular la cantidad de lixiviados/agua a añadir para llegar a la capacidad de campo máxima de los residuos. Las tablas M9.10. y M9.11. con los resultados obtenidos se pueden ver a continuación:

Tabla M9.10. Volumen de lixiviados/agua necesarios para llegar a la capacidad de campo en la celda 1.

	Niveles	Peso RSU (t)	Volumen lixiviados/agua (m ³)
CELDA 1	Nivel 1	10519,235	4.972,548
	Nivel 2	27924,242	15.932,735
	Nivel 3	36539,702	23.913,408
TOTAL		74983,178	44.818,690

Tabla M9.11. Volumen de lixiviados/agua necesarios para llegar a la capacidad de campo en la celda 2 y 3.

	Niveles	Peso RSU (t)	Volumen lixiviados/agua (m ³)
CELDA 2 y 3	Nivel 1	11052,818	5.224,778
	Nivel 2	25915,909	14.786,840
	Nivel 3	35420,613	23.181,020
TOTAL		72389,340	43.192,638

9.3. Dimensionado de equipos y tuberías.

9.3.1. Dimensionado de las tuberías.

En el apartado anterior se han calculado la cantidad de lixiviados/agua que se añadirán a cada uno de los niveles del vertedero. Para el dimensionado de las tuberías se requerirá de caudales para obtener los diámetros que tendrán las tuberías, así como la forma en la que se colocarán en las superficies de los niveles.

Para empezar con el dimensionado se establece un periodo de introducción de los lixiviados/agua en el vertedero. La elección del periodo de introducción de lixiviado/agua está determinada por dos factores importantes: obtener un caudal y unos diámetros de tuberías razonables. Por este motivo se ha establecido un periodo de 90 días.

De esta manera, se ha obtenido un caudal para la conducción principal de cada una de las celdas, que recogerá los lixiviados/agua de la balsa de almacenamiento. Además de este caudal también se han obtenido los caudales de las 3 ramificaciones de cada uno de los 3 niveles del vertedero (tabla M9.12. y tabla M9.13.).

Tabla M9.12. Caudal necesario en cada nivel de la celda 1.

CELDA 1			
	Volumen de agua (m ³)	Periodo de adición (h)	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	4.972,55	2.160	2,30
Nivel 2	15.932,73	2.160	7,38
Nivel 3	23.913,41	2.160	11,07
	44.818,69	2.160	20,75

Tabla M9.13. Caudal necesario en cada nivel de la celda 2 y 3.

CELDA 2 Y 3			
	Volumen de agua (m ³)	Periodo de adición (h)	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	5.224,78	2.160	2,42
Nivel 2	14.786,84	2.160	6,85
Nivel 3	23.181,02	2.160	10,73
	43.192,64	2.160	20,00

A partir de los caudales se ha calculado el diámetro de las conducciones principales que se introducen al vertedero (tabla M9.14. y tabla M9.15.).

Tabla M9.14. Diámetros de las tuberías que van al vertedero de la celda 1.

CELDA 1			
Diámetro Tub. Principal (mm)	Diámetro Nivel Inferior (1) (mm)	Diámetro Nivel Intermedio (2) (mm)	Diámetro Nivel Superior (3) (mm)
69,95	23,30	41,70	51,09

Tabla M9.15. Diámetros de las tuberías que van al vertedero de la celda 2 y 3.

CELDA 2 Y 3			
Diámetro Tub. Principal (mm)	Diámetro Nivel Inferior (1) (mm)	Diámetro Nivel Intermedio (2) (mm)	Diámetro Nivel Superior (3) (mm)
68,67	23,88	40,18	50,30

Estos diámetros representan la conducción principal de recogida de lixiviados hacia el vertedero (Tubería principal) y las 3 tuberías en las que se divide el caudal para cada uno de los 3 niveles (nivel inferior, nivel intermedio y nivel superior).

De la misma manera se ha calculado el caudal, el diámetro y la cantidad de tuberías que se instalarán en la superficie de los niveles del vertedero. Para ello se ha decidido que sólo se realizará el cálculo de las conducciones del nivel superior, ya que se utilizarán las mismas dimensiones para los niveles inferiores (tabla M9.16 y tabla M9.17.).

Tabla M9.16. Diámetros de las tuberías para la superficie de la celda 1.

Niveles	Nº de tuberías	Caudal (m ³ /h)	Diámetro (mm)
Nivel 3	72,00	0,15	5,95

Tabla M9.17. Diámetros de las tuberías para la superficie de la celda 2 y 3.

Niveles	Nº de tuberías	Caudal (m ³ /h)	Diámetro (mm)
Nivel 3	72,00	0,15	5,95

A continuación se debe establecer una red de tuberías, con las perforaciones para los goteros en la superficie de cada uno de los niveles para que los residuos se humedezcan de manera homogénea. A partir del caudal máximo de los goteros se ha decidido la disposición de las tuberías y los goteros autocompensantes.

El caudal máximo de los goteros es de 0,004 m³/h. Se ha establecido una distancia entre tuberías igual a la distancia entre goteros, esta distancia es de 3 metros. El cálculo de la distancia entre goteros se ha realizado a partir de la superficie de cada uno de los niveles. Cada gotero afecta a un área circular por lo que primero se calcula la superficie que abarca cada gotero.

A continuación se han calculado la superficie que se ve afectada por cada gotero y el número de goteros que se tendrán que introducir en cada nivel (tabla M9.18. y tabla M9.19.).

Tabla M9.18. Caudal y número de goteros de la celda 1.

CELDA 1					
Niveles	Distancia (m)	Radio (m)	Superficie por gotero	Nº Goteros	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	3	1,5	7,069	3500,762	0,0032
Nivel 2	3	1,5	7,069	2340,002	0,0032
Nivel 3	3	1,5	7,069	1262,694	0,0018

Tabla M9.19. Caudal y número de goteros de la celda 2 y 3.

CELDA 2 Y 3					
Niveles	Distancia (m)	Radio (m)	Superficie por gotero	Nº Goteros	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	3	1,5	7,069	3428,213	0,0031
Nivel 2	3	1,5	7,069	2243,764	0,0031
Nivel 3	3	1,5	7,069	1129,965	0,0021

Además a los goteros se les protegerá de las obturaciones envolviéndolos con geotextil.

Cada una de las tuberías tendrá un diámetro y un espesor acorde al caudal que tienen y la presión nominal a la que están sometidas, además deben tener unas características necesarias, ya que estarán en un medio agresivo.

La presión nominal de las tuberías se obtendrá a partir de los metros de columna de agua que hay desde la superficie hasta el punto en el que se encuentran las tuberías. La presión nominal para las tuberías se puede ver en la tabla M9.20:

Tabla M9.20. Presión nominal de las tuberías.

Metros columna de agua	Bares
1	0,098
10	0,98
20	1,961

Con estos resultados y atendiendo al medio al que están sometidas, se deben escoger las tuberías que mejor se adapten a estos resultados y exigencias. El tipo de tubería que se ha elegido es la de PEAD ya que poseen unas características realmente favorables para ser capaces de soportar el ataque químico que sufrirán dentro del vertedero. En el anexo nº 5 “Catálogos” se puede ver el catálogo con las características de las tuberías escogidas.

9.3.2. Dimensionamiento de la bomba de recirculación.

La bomba se elegirá atendiendo a los datos obtenidos en el apartado anterior, el cálculo de la potencia de la bomba y la posición en la que se encontrará. También se ha calculado la potencia que sería necesaria en la bomba. Se comprarán 4 bombas para recircular los lixiviados/agua, dos de estas servirán de recambio por si fallara alguna de ellas. Los datos para la elección de la bomba están en la tabla M9.21. y M9.22.:

Tabla M9.21. Datos para la elección de la bomba de la celda 1.

CELDA 1	
Caudal (m ³ /h)	20,75
Altura (m)	5
Diámetro de impulsión (mm)	69,95
Potencia (W)	554,265

Tabla M9.22. Datos para la elección de la bomba de la celda 2 y 3.

CELDA 2	
Caudal (m ³ /h)	20,00
Altura (m)	5
Diámetro de impulsión (mm)	68,67
Potencia (W)	534,645

Las bombas escogidas son iguales para ambas celdas y las características de éstas se ven en la tabla M9.23.

Tabla M9.23. Características de la bomba de recirculación para todas las celdas.

Bomba sumergible con rodete monocanal GMC4 80-100C	
Potencia (kW)	80
DN (mm)	100
Protección térmica	Standard
Profundidad de inmersión (m)	15

9.3.3. Válvulas para regular el caudal.

Para el control del caudal introducido en cada uno de los niveles del vertedero se instalarán electroválvulas reguladoras. Esto se debe a que cada celda requiere un caudal, y este viene de la conducción principal que recoge los lixiviados/agua de la balsa. De esta manera se obtendrá un control lo suficientemente preciso en la introducción del lixiviado/agua.

Las electroválvulas se han escogido por las características, el diámetro nominal y el caudal de paso al que pueden llegar. Son electroválvulas 2/2 de mando asistido y cuerpo de latón. Las características principales se muestran en la tabla M9.24.

Tabla M9.24. Características principales de las electroválvulas.

Electroválvula 2/2 de mando asistido y cuerpo de latón	
Potencia (W)	15,3
DN (mm)	44
Temperatura del fluido (°C)	-20 a 85
Caudal máximo de paso (m ³ /h)	37

9.3.4. Equipos para el control del nivel.

Además de las válvulas, también se instalará un equipo de control de nivel en la parte inferior del vertedero. Se instalarán dos controladores: controlador de nivel máximo y controlador de nivel mínimo. En el *anexo n° 5 “Catálogos”*, explica el motivo por el que se instalan los controladores. Las características principales se muestran en la tabla M9.25

Tabla M9.25. Características principales de los elemento de control de nivel.

Interruptor magnético de nivel con boya IMN Latón CN01200	
Diámetro boya (mm)	36
Temperatura de trabajo (°C)	-30 a 60

9.3.5. Energía necesaria para calentar los lixiviados/agua.

Como se ha explicado en el *apartado 6.2.2. “Factores que influyen en la generación de biogás”*, las bacterias necesitan estar en un rango de temperaturas concreto para la producción de biogás. El intervalo de temperaturas en el que las bacterias pueden sobrevivir y producir biogás se encuentra entre 10°C y 60°C.

Por otro lado, si la temperatura subiera por encima de los 60°C las bacterias empezarían a morir por lo que se dejaría de producir biogás. Y por el contrario, si las temperaturas descendieran por debajo de 10°C, también dejarían de producir biogás. En el segundo caso las bacterias no morirían, ya que entrarían en un estado de letargo esperando a que la temperatura volviera a aumentar para volver a activarse.

Para mantener la temperatura del interior del vertedero se ha pensado de hacer circular los lixiviados/agua a través de un intercambiador de calor o una resistencia eléctrica para calentarlos y que entren al vertedero a la misma temperatura a la que se encuentra este.

Se ha calculado la energía necesaria para calentar los lixiviados a 45°C. Este cálculo se ha realizado para las dos épocas del año donde los lixiviados se encuentran en dos extremos, verano e invierno. Los resultados obtenidos se detallan en las tablas M9.26 y M9.27:

Tabla M9.26. Energía necesaria para calentar los lixiviados que van dirigidos a la celda 1.

CELDA 1					
	Caudal de lixiviado/agua (m ³ /h)	Cp agua (kcal/m ³ °C)	T ₀ (°C)	T _F (°C)	Energía para calentar el lixiviado/agua (kcal/h °C)
Verano	20,75	1000	28	45	352.750,00
Invierno	20,75	1000	5	45	830.000,00

Tabla M9.27. Energía necesaria para calentar los lixiviados que van dirigidos a la celda 2 y 3.

CELDA 2					
	Caudal de lixiviado/agua (m ³ /h)	Cp agua (kcal/m ³ °C)	T ₀ (°C)	T _F (°C)	Energía para calentar el lixiviado/agua (kcal/h °C)
Verano	20,00	1000	28	45	340.000,00
Invierno	20,00	1000	5	45	800.000,00

9.4. Purificación del biogás.

Tal y como se ha visto en el apartado 6.2.1. “Composición y características del biogás” de la memoria, el biogás está compuesto por diferentes gases. Algunos de estos, aunque están en pequeñas cantidades, pueden ser perjudiciales y dañinos tanto para el medio ambiente como para los equipos de valorización del biogás.

Este biogás no puede ser enviado directamente a la producción energía, el motivo son parte de los gases que contiene el biogás, por lo que se debe evitar la entrada de impurezas que puedan afectar a los equipos de recuperación energética. Para esto se realizan una serie de tratamientos del biogás que eliminan la humedad y los condensados del biogás, así como la eliminación de los siloxanos y el ácido sulfhídrico. Una vez se han eliminado estos gases, el biogás depurado puede enviarse a los motores de combustión.

- La solución del problema de los condensados se consiguen con un sistema de trampas de condensados por depresión.
- Para eliminar el ácido sulfhídrico y los siloxanos se utilizará un depósito con carbón activo.

9.5. Aprovechamiento del biogás.

El biogás puede ser aprovechado de diferentes maneras pero hay tres factores que deciden si el biogás puede, o no, ser aprovechado y de qué manera. Los tres factores son, el económico, el medioambiental y el tecnológico.

De los tres factores el económico es el más importante porque decide si se puede llevar a cabo un aprovechamiento o no. Por otro lado, los factores medioambiental y tecnológico se centran en la producción de biogás, uno para intentar evitar la contaminación por emisión. El tecnológico depende de la cantidad de biogás que se produzca, ya que esta condiciona el dimensionamiento de los equipos de aprovechamiento. Una cantidad baja de biogás podría no permitir que se pudiera aprovechar el biogás producido.

El aprovechamiento se puede realizar de diferentes maneras:

- Combustión directa.
- Motores de combustión interna (Cogeneración).
- Combustible para vehículos.
- Turbinas de gas o vapor.

En el presente vertedero se ha pensado en utilizar motores de camión adaptados para que puedan funcionar con biogás. Esta manera de aprovechar el biogás se está utilizando en Italia. El motivo por el que se decide utilizar estos motores está relacionado con la variación en la cantidad de biogás que se produce y la necesaria para hacer funcionar los motores.

10. PLANIFICACIÓN

La planificación para la instalación de todos los equipos necesarios para el biorreactor, se realiza al mismo tiempo que se va llenando el vertedero con los residuos. La duración del llenado de las celdas está definida en 18 años.

Las conducciones que están situadas en las superficies de los 3 niveles se instalarán en el momento que se llegue al nivel deseado. Los equipos para la recirculación, la purificación y el aprovechamiento de los lixiviados/agua se realizará una vez estén las celdas selladas a cota cero. La planificación se puede ver en la tabla M10.1.

11. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

En este apartado se realizará un análisis económico del presente proyecto, teniendo en cuenta el presupuesto de explotación y la inversión inicial, así como el posible precio de venta del agua para saber si económicamente es viable o no dicho proyecto.

11.1. Resumen de presupuesto.

En el siguiente apartado se resumirán las partes principales del presupuesto (en el documento nº6 Presupuestos se encuentran los cuadros de precios detallados).

11.1.1. Presupuesto de ejecución material.

El presupuesto de ejecución material (PEM) consta de 4 partes, llamadas Partidas presupuestarias. En la tabla M11.1 se presentan cada una de ellas junto al valor del presupuesto de ejecución material total.

Tabla M11.1. Presupuesto de Ejecución material (PEM)

Partida	Coste (€)
Partida 1: Conducciones y válvulas.	308.671,17
Partida 2: Equipos.	24.367,00
Partida 3: Controladores.	2.049,44
Partida 4: Purificación.	1.103,60
Partida 5: Aprovechamiento.	155.036,00
TOTAL	491.227,21

11.1.2. Presupuesto de Ejecución por Contrata.

El presupuesto de Ejecución por Contrata parcial se halla mediante la ecuación (7). El PEC parcial se puede ver calculado en la tabla M11.2:

$$PEC = PEM + Gastos generales + Beneficio industrial \quad (7)$$

Tabla M11.2. PEC parcial.

Presupuesto de Ejecución Material	491.227,21
Gastos Generales (15% del PEM)	73.684,08
Beneficio industrial (6% del PEM)	29.473,63
Presupuesto de Ejecución por Contrata	594.384,93

El Presupuesto de Ejecución por Contrata se calcula añadiendo el valor del I.V.A. (21% actualmente) al valor del Presupuesto de Ejecución por Contrata parcial. El valor del PEC equivale a la inversión inicial a realizar para poder llevar a cabo el proyecto.

En el caso del presente proyecto es de **SETECIENTOS DIECINUEVE MIL DOSCIENTOS CINCO EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS**.

11.2. Presupuesto de explotación.

El presupuesto de explotación o gastos totales, explica todos los gastos previsto en un año. En este caso el presupuesto de explotación mostrará los dos primeros años de explotación del biorreactor, ya que el consumo de agua el primer año será superior al del resto de años.

11.2.1. Gastos directos.

Los gastos directos son aquellos que provienen de los gastos de producción. En este aparece el consumo eléctrico de los equipos y el agua que se va a utilizar para humedecer el vertedero.

En la tabla M11.3 se presenta el consumo eléctrico anual de los equipos previsto de cada uno de los equipos, así como el consumo total anual y su coste, teniendo en cuenta que el coste de la energía eléctrica en las industrias es de 0,086 €/kWh.

Tabla M11.3. Consumo eléctrico anual.

Equipo	Potencia (kW)	Consumo anual (kWh/año)	Coste anual (€)
Electrobomba sumergible, rodete monocanal. Modelo GMC4 80-100C	3,80	33.288,00	2.862,77
Electrobomba sumergible, rodete monocanal. Modelo GMC4 80-100C	3,80	33.288,00	2.862,77
Electroválvulas 2/2 de mando asistido y cuerpo de latón	0,02	134,03	11,53
TOTAL	7,62	66.710,03	5.737,06

En la tabla M11.4 se muestra el gasto por el consumo de agua.

Tabla M11.4. Consumo de agua del año 1 y el resto de años.

	Demanada anual (m³)	Precio del agua (€/m³)	Total (€)
Consumo de agua (Año 1)	88.011,32	0,80	70.409,06
Consumo de agua (Años siguientes)	2.500,00	0,80	2.000,00

Los gastos directos totales de las tablas M11.3 y M11.4, se resumen en la tabla M11.5.

Tabla M11.5. Gastos directos totales.

Gastos directos	Coste (€)
Consumo eléctrico	5.737,06
Consumo de agua	72.409,06
TOTAL	78.146,12

11.2.2. Amortización.

La amortización del PEC será la misma para todos los equipos, elementos de circulación de fluidos, elementos de control y equipos de purificación y aprovechamiento. Se han elegido 15 años para las amortizaciones porque es el tiempo promedio de explotación de un vertedero. La amortización se muestra en la tabla M11.6.

Tabla M11.6. Amortizaciones de las instalaciones

I₀ (€)	Amortizaciones (€)
719.205,76	$\frac{I_0}{15} * (1 + IPC)$

*I*₀: Inversión inicial (€).

IPC: Índice de precios al consumo (%).

11.2.3. Gastos indirectos.

Estos gastos son independientes de la producción. Algunos de estos pueden ser el mantenimiento de los equipos o el salario de los operarios que se encargan del biorreactor. Los gastos indirectos se pueden ver en la tabla M11.7.

Tabla M11.7. Gastos indirectos.

Gastos indirectos	Coste
Mantenimiento de los equipos (€/año)	3.500,00
Sueldos (€/año)	25.000,00
Amortización (€/año)	47.947,05
TOTAL (€/año)	76.447,05

11.2.4. Gastos totales.

El presupuesto de explotación anual está definido por la suma de los gastos directos y los gastos indirectos. Las tablas M11.8 y M11.9 recogen los costes de los gastos del primer año y del resto de años, esto se debe a que el consumo de agua para el primer año es muy superior al resto.

Tabla M11.8. Gastos totales del año 1.

Gastos (año 1)	Coste (€/año)
Gastos directos	78.146,12
Gastos indirectos	76.447,05
TOTAL (€/año)	154.593,17

Tabla M11.9. Gastos totales del resto de años.

Gastos (resto de años)	Coste (€/año)
Gastos directos	7.737,06
Gastos indirectos	76.447,05
TOTAL (€/año)	84.184,11

Los gastos anuales que se asumirán con la instalación del biorreactor equivalen a **CIENTO CINCUENTA Y CUATRO MIL QUINIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS CON DIECISIETE CÉNTIMOS** para el primer año, y **OCHENTA Y CUATRO MIL CIENTO OCHENTA Y CUATRO EUROS CON ONCE CÉNTIMOS** para el resto de años.

11.3. Beneficio.

Para el cálculo de los beneficios, en primer se debe obtener la energía producida por el biogás una vez se ha utilizado en los motores. El cálculo se realiza a partir del volumen de metano producido por el biorreactor.

Se debe tener en cuenta que el LandGEM no considera el tratamiento que se les proporciona a los residuos, los cuales pasan de tener un 38,18% de materia orgánica de rápida degradación a tan solo un 3,14%. Con las sumas totales de los porcentajes del material biodegradable antes y después del tratamiento se puede obtener una relación para obtener un volumen de metano en el que considere la pérdida de la materia orgánica de rápida degradación. La relación obtenida es del 0,63.

$$\left(\frac{m^3 CH_4}{año} * 0,63 * \frac{8.900 \text{ kcal}}{m^3} * \frac{4,18 \text{ kJ}}{\text{kcal}} * \frac{\text{kWh}}{3600} \right) * 0,23 \text{ (Rendimiento del motor)} \quad (8)$$

Una vez obtenida la energía que producirán los motores con el volumen de biogás se puede obtener los ingresos. El precio por la venta de energía es 0,086 €/kWh. La tabla M11.10 muestra la energía producida por el biogás y los ingresos por ventas.

Tabla M11.10. Ingresos por año.

Horizonte (años)	Energía (kWh)	INGRESOS (€)
1	1.582.311,92	136.078,83
2	2.273.682,45	195.536,69
3	2.617.840,38	225.134,27
4	2.787.882,91	239.757,93
5	2.768.536,75	238.094,16
6	2.759.372,79	237.306,06
7	2.754.281,69	236.868,23
8	2.752.245,25	236.693,09
9	2.751.227,04	236.605,53
10	2.645.332,29	227.498,58

A partir de estos valores de venta se calcularán los beneficios obtenidos.

11.3.1. Beneficio bruto.

Para el cálculo del beneficio bruto se tiene en cuenta la variación del IPC (Índice de Precios al Consumo) anual que se considera que es de un 0,0185. El beneficio bruto se halla restando los ingresos menos los gastos totales.

Se calculan los beneficios hasta 15 años, teniendo en cuenta los ingresos y gastos totales previstos, tal y como se muestra en la tabla M11.11.

Tabla M11.11. Beneficio bruto.

Horizonte (años)	INGRESOS (€)	GASTOS	Beneficio bruto (€)
1	136.078,83	159.510,83	-23.432,00
2	195.536,69	91.101,76	104.434,93
3	225.134,27	92.787,15	132.347,13
4	239.757,93	94.503,71	145.254,22
5	238.094,16	96.252,03	141.842,13
6	237.306,06	98.032,69	139.273,37
7	236.868,23	99.846,29	137.021,93
8	236.693,09	101.693,45	134.999,64
9	236.605,53	103.574,78	133.030,75
10	227.498,58	105.490,91	122.007,66

11.3.2. Beneficio neto.

El beneficio neto se obtiene restando al beneficio bruto anual obtenido anteriormente un 25% por impuestos de sociedades. Los resultados quedan reflejados en la tabla M11.12.

Tabla M11.12. Beneficio neto.

Horizonte (años)	Beneficio bruto (€)	Beneficio neto (€)
1	-23.432,00	-17.574,00
2	104.434,93	78.326,20
3	132.347,13	99.260,34
4	145.254,22	108.940,67
5	141.842,13	106.381,60
6	139.273,37	104.455,03
7	137.021,93	102.766,45
8	134.999,64	101.249,73
9	133.030,75	99.773,06
10	122.007,66	91.505,75

11.4. Flujo de caja.

El flujo de caja (FC) hace referencia a los flujos económicos de entrada y salida en un período dado en una empresa.

Se halla mediante la ecuación (9):

$$FC = Beneficio\ neto + Amortizaciones \quad (9)$$

En la tabla M11.13 se muestran los resultados de los flujos de caja para un horizonte de 15 años.

Tabla M11.13. Flujo de caja.

Horizonte (años)	Beneficio neto (€)	Amortizaciones (€)	Flujo de caja (€)
1	-17.574,00	54.864,70	37.290,70
2	78.326,20	55.879,70	134.205,90
3	99.260,34	56.913,47	156.173,82
4	108.940,67	57.966,37	166.907,04
5	106.381,60	59.038,75	165.420,35
6	104.455,03	60.130,97	164.586,00
7	102.766,45	61.243,39	164.009,84
8	101.249,73	62.376,39	163.626,13
9	99.773,06	63.530,36	163.303,42
10	91.505,75	64.705,67	156.211,42

11.5. Valor Actual Neto.

El VAN es un indicador de la rentabilidad de un proyecto. Se ha elegido un horizonte de 10 años ya que, se considera el periodo mínimo de una concesión a una empresa de este tipo.

Pueden darse tres casos:

- VAN<0: indica que un proyecto no es rentable en un determinado período de tiempo.
- VAN>0: el proyecto es rentable, las ganancias superan a los costes
- VAN=0: el proyecto no genera ni pérdidas ni ganancias.

Para su cálculo se utiliza la ecuación (10):

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=10} \frac{FC_n}{(1+i_r)^n} \quad (10)$$

Siendo:

I_0 : inversión inicial (€)

n : período de tiempo (años).

FC_n : Flujo de Caja en un determinado año (€)

i_r : tipo de interés real (interés nominal partido IPC)

En la tabla M11.14 se exponen los resultados obtenidos del VAN en un período de 15 años.

Tabla M11.14. Valor Actual Neto (VAN)

VAN (€)
630.647,96

11.6. Tasa Interna de Rentabilidad.

La Tasa Interna de Rentabilidad (TIR) ofrece la tasa de rentabilidad de un proyecto con un determinado valor de inversión. El valor de la tasa se determina haciendo el VAN igual a 0. Se realizará una iteración dando valores al i_r (interés real) hasta conseguir que el VAN sea 0 o próximo a 0, el valor que i_r tenga en ese momento será el valor del TIR.

Se halla con la siguiente ecuación:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^{n=10} \frac{FC_n}{(1+i)^n} \quad (11)$$

Donde:

I_0 : inversión inicial (€)

n : período de tiempo (años).

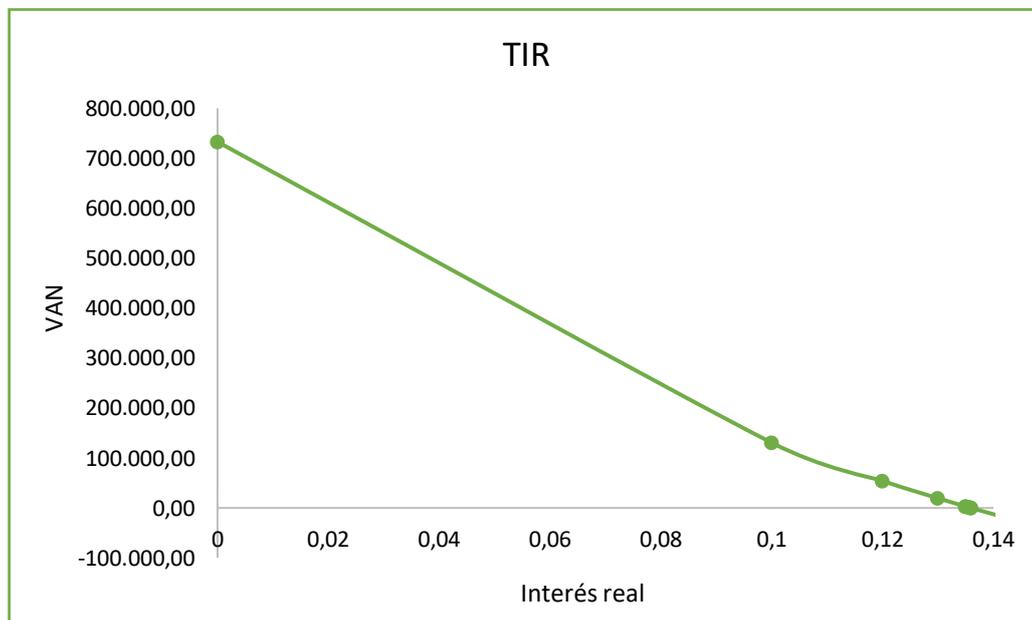
FC_a : Flujo de Caja en un determinado año (€)

Tal y como se observa en la ecuación (11) el TIR es el valor que hace que el VAN sea 0. Los resultados del cálculo del TIR se pueden ver en la tabla M11.15 y la figura M11.1.

Tabla M11.15. Tasa Interna de Rentabilidad.

TIR (€)	
Ir (%)	VAN (€)
0	732.791,00
0,1	130.612,61
0,12	54.086,03
0,13	19.496,82
0,135	3.035,65
0,1351	2.711,87
0,1356	1.096,09
0,1359	129,14
0,136	-192,75
0,15	-43.272,79

Figura M11.1. TIR.



El TIR obtenido es del 13,59% el cual es superior al interés nominal (2,3%). Este resultado confirma la viabilidad del proyecto.

11.7. Período de retorno.

El período de retorno (PR) es un parámetro que indica aproximadamente el tiempo que se tarda en recuperar la inversión inicial de un proyecto. Se halla mediante la ecuación (12)

$$PR = \frac{I_0}{FC_{promedio}} \quad (12)$$

El cálculo del período de retorno se realizará a partir de la inversión inicial (I_0) y el flujo de caja (FC). El resultado se muestra en la tabla M11.16.

Tabla M11.16. Flujo de caja

I_0 (€)	FC (€)	PR (años)
719.205,76	145.199,68	4,95

El período de retorno obtenido es de **5 años y 216 días**.

11.8. Subvenciones a proyectos de energías renovables.

El pasado Octubre el “Diari Oficial de la Generalitat Valenciana” informaba de la generación de la Orden 19/2016, de 19 de octubre, de la Conselleria de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio y Trabajo, por la que se establecen las bases reguladoras para la concesión de ayudas del Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), en materia de energías renovables y biocarburantes. Con el principal objetivo de impulsar la política energética hacia un nuevo modelo energético que esté basado en la eficiencia energética, en el aprovechamiento de las energías renovables, en las instalaciones de autoconsumo energético y en una logística de transporte y movilidad sostenible que minimice el impacto sobre el medio ambiente.

Las subvenciones serán concedidas aquellas actuaciones que tengan materia con energía renovable y biocarburantes, ejemplos de estas son:

- Actuaciones relacionadas con la energía solar térmica.
- Actuaciones relacionadas con la energía solar fotovoltaica.
- Actuaciones relacionadas con la energía eólica.
- Actuaciones relacionadas con la energía geotérmica.

- Actuaciones relacionadas con la energía minihidráulica.
- Actuaciones relacionadas con la biomasa y el biogás.
- Actuaciones relacionadas con los biocarburantes
- Actuaciones relacionadas con otras fuentes de energías renovables

Algunos requisitos que se deben tener son:

- El proyecto se deberá encontrarse dentro del territorio de la Comunitat Valenciana.
- En todo caso, solo se considerarán apoyables los proyectos y/o instalaciones nuevas y que estén constituidas por equipos nuevos y sin uso previo, y en todo caso el importe de las ayudas será independiente de la producción.
- Las ayudas previstas contribuirán a financiar los gastos que estén directamente relacionados con el desarrollo de los proyectos subvencionados.

La cuantía de las ayudas podrá ser de hasta el 45 % del coste subvencionable del proyecto, de acuerdo a lo establecido en el art. 41.7.a del Reglamento (UE) Núm. 651/2014, de la Comisión, de 17 de junio de 2014.

Si el presente proyecto recibiera la subvención descrita por el “Diari Oficial de la Generalitat Valenciana” se podría llegar a reducir la inversión inicial casi a la mitad. De esta manera se recalcularía el VAN, el TIR, el FC y el PR. Los resultados que se verán en las tablas M11.17, M11.18, M11.19 y M11.20, se han obtenido aplicando la subvención.

Tabla M11.16. VAN

VAN (€)
956.018,22

Tabla M11.16. TIR

TIR (%)
33,41

Tabla M11.16. FC Promedio

FC Promedio (€)
137.675,38

Tabla M11.16. PR

I ₀ (€)	FC (€)	PR (años)
323.642,59	137.675,38	2,35

Como se puede apreciar, habría un aumento en la viabilidad del proyecto ya que, el periodo de retorno obtenido después de aplicar la subvención es de casi la mitad del tiempo obtenido sin la subvención.

12. CONCLUSIONES

En el presente proyecto se ha conseguido cumplir los objetivos que se plantearon al principio, los cuales estaban enfocados de la siguiente manera:

- Reducir el tiempo de vida del vertedero.
- Reaprovechar el espacio generado en el vertedero por la biodegradación de los residuos.
- Obtener un beneficio económico a partir del biogás.

La primera conclusión está dirigida hacia el estudio de producción de biogás. En el estudio se observa cómo se reduce la vida del vertedero significativamente, de más de 100 años a tan solo 50 años aproximadamente. Los beneficios que se obtienen de esta reducción de vida del vertedero son una ventaja para BIONORD y para las administraciones públicas encargadas de la preservación del medio ambiente, por dos motivos:

- La empresa que gestiona el vertedero tiene la obligación de realizar durante 30 años un mantenimiento y una vigilancia postclausura del vertedero para evitar la posibilidad de que se produjeran situaciones peligrosas como fuertes asentamientos o incendios por el aumento de la temperatura en el interior del vertedero así como migraciones difusas de biogás y vertido incontrolado de lixiviados.

- El segundo motivo es la detención de la actividad biológica. Esto se debe a que todo el material biodegradable que contiene el vertedero se habrá transformado en biogás, de manera que los microorganismos no tendrán más alimento y cesarán su actividad, por lo que el vertedero quedará inertizado.

La segunda conclusión que se obtiene está dirigida al aprovechamiento del espacio ocupado por los residuos en el vertedero. Como ya se ha comentado, la producción de biogás se consigue gracias a la degradación de los residuos por la acción de los microorganismos. La transformación de los residuos en biogás tiene como consecuencia la creación de espacios vacíos dentro del vertedero, de manera que una vez se extraiga el biogás producido, los residuos que no pueden ser degradados o aún no se han biodegradado ocuparán ese espacio. Este movimiento de los residuos en el interior del vertedero conlleva la aparición de asentamientos.

Los asentamientos producidos en el vertedero pueden hacer que el vertedero reduzca su altura hasta en un 30%, lo que puede permitir que se rellene ese espacio con residuos para optimizar el aprovechamiento del espacio del vertedero.

La tercera conclusión que se obtiene está referida a la cantidad de biogás producido en el vertedero. Como se ha comentado durante la memoria, el biogás contiene metano. El biogás producido puede dar un beneficio económico mediante la generación de energía al hacerlo pasar a través de moto-generadores para producir electricidad. La producción de electricidad a partir del biogás generado en los vertederos está considerada como una energía renovable. Las emisiones de CO₂ evitadas por la producción de electricidad a partir de biogás se muestra en la figura M12.1.

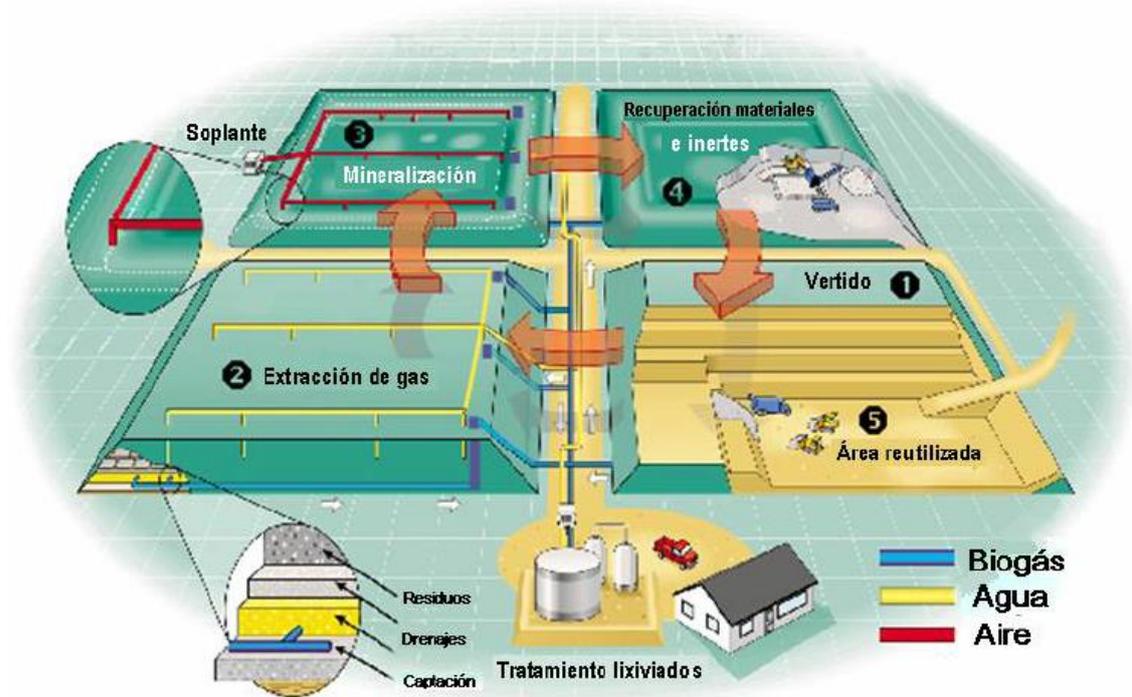
Tabla M12.1. Emisiones de CO₂ evitadas al producir electricidad a partir de biogás.



Por otra parte, en el apartado 2 “*Alcance*” de la presente memoria, se habla de la posibilidad de obtener CDR a partir de los residuos restantes. Con esto se refiere a que una vez extraído todo el biogás del vertedero, los residuos resultantes no se pueden biodegradar, sin embargo tiene un elevado PCI por lo que se les puede dar otro aprovechamiento. Dicho aprovechamiento está encaminado a la producción de energía térmica mediante la combustión de estos, esto se debe a su alto poder calorífico que es aproximadamente igual de alto que el del carbón.

En definitiva, las conclusiones que se han obtenido son viables y realmente beneficiosas para el medio ambiente como el propio vertedero. Estas conclusiones llevan a pensar que puede producirse la aparición de otra forma de deposición de residuos. La nueva forma consistiría en realizar excavaciones más pequeñas y en un número mayor, de manera que una vez queda sellada la primera se activa el biorreactor y una vez inertizado se extraen los residuos para obtener el CDR y vuelve a quedar libre el vaso del vertedero para volver a ser llenado. Esto puede verse en la figura M12.2.

Tabla M12.2. Obtención de CDR mediante la utilización de un biorreactor.



El estudio de viabilidad económica realizado nos ofrece unos resultados bastante satisfactorios. No obstante, el mercado de la energía y sobretodo el de las energías renovables tiene considerables fluctuaciones por lo que estos resultados podrían variar. En cualquier caso, a partir de la Cumbre de la Tierra en París el año 2015, se espera un incentivo en la generación y uso de las energías renovables. Además, la Generalitat Valenciana otorga subvenciones a la generación y uso de energías renovables.

Como conclusión final, los datos obtenidos de este proyecto invitan a la reflexión sobre la importancia que se le debería otorgar a un proyecto de este tipo, proyectos que promueven la sostenibilidad energética y reducen la dependencia de los combustibles fósiles. Incentivar estos proyectos debería ir más allá del beneficio económico ya que, seamos conscientes o no vivimos en un planeta donde los recursos son finitos y una buena gestión de estos marcará el futuro de la humanidad.

2. ANEXOS

ANEXO N° 1. ESTUDIO DE PRODUCCION DE BIOGAS.....	3
1. INTRODUCCIÓN	3
2. MODELO DE CALCULO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS	3
3. PRODUCCIÓN DE BIOGAS.....	5
3.1. PARAMETOS DE ENTRADA	5
3.1.1. Composición y cantidad de residuos	5
3.1.2. Índice de generación de metano	7
3.1.3. Capacidad potencial de generación de metano	8
3.1.1. Concentración de compuestos orgánicos no metanigenos (NMOCC).....	9
3.1.2. Contenido en metano	10
3.1.3. Parámetros de los gases contaminantes	11
4. CANTIDAD DE BIOGÁS PRODUCIDO.....	13
4.1. Producción de biogás a condiciones actuales.....	13
4.2. Producción de biogás a condiciones de biorreactor.	17
ANEXO N° 2. HUMEDAD REQUERIDA EN LA PRODUCCION DE BIOGAS	
.....	24
1. INTRODUCCIÓN	24
2. HUMEDAD DE LOS RESIDUOS DEPOSITADOS EN EL VERTEDERO ..	25
3. EFICACIA DEL BIOSECADO	26
4. PRODUCCIÓN DE BIOGAS.....	27
5. PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS	28
5.1. Propiedades físicas	28
5.2. Capacidad de campo	29
6. CALCULO DE LA CANTIDAD DE LIXIVIADO/AGUA NECESARIA	32

6.1. Cálculo de la capacidad de campo máxima	32
6.2. Cálculo de la cantidad de lixiviados/agua necesaria para los RSU.....	33
ANEXO N° 3. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS Y TUBERIAS.....	36
1. INTRODUCCIÓN	36
2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERIAS.....	36
3. ELECCIÓN DE LA BOMBA DE RECIRCULACIÓN.	41
4. VÁLVULAS REGULADORAS Y EQUIPOS DE CONTROL.....	43
4.1. Electroválvulas.	43
4.2. Equipos para el control de nivel.	44
ANEXO N° 4. APROVECHAMIENTO Y PURIFICACIÓN DEL BIOGÁS	46
1. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS.	46
2. PURIFICACIÓN DEL BIOGÁS.....	49
ANEXO N° 5. CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS	52
1. BOMBA SUMERGIBLE.....	52
2. TUBERÍAS.....	56
3. ELECTROVÁLVULAS	60
4. CONTROLADORES DE NIVEL	61

ANEXO N° 1. ESTUDIO DE PRODUCCION DE BIOGAS

En el Anexo n° 1 detalla dos tipos de producciones de biogás. Primero la producción de biogás en la situación actual del vertedero, y segundo la producción que simula una situación con biorreactor.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de biogás en un vertedero viene dada por la composición y la cantidad de residuos depositados en su interior, la temperatura, el pH y las precipitaciones que se producen en la zona, como factores más importantes.

Debemos tener en cuenta que la mayor cantidad de biogás que se producirá en el vertedero va a ser por los residuos de degradación lenta (papel, cartón, textil no sintético, etc.), esto es debido al tratamiento al que son sometidos los residuos antes de ser depositados en el vertedero, el cual está explicado en el *apartado 7 “Descripción del proceso BIOCUBI” de la Memoria* del presente proyecto.

Para la estimación de la cantidad de biogás que se genera hay varios modelos que pueden ser utilizados, se utilizará el programa desarrollado por la E.P.A., “LandGem”, el cual utiliza una ecuación de primer orden para estimar la generación de biogás con el tiempo. Con este modelo se puede controlar el cambio en la tasa de generación de biogás, ya que el programa requiere de un conocimiento alto de las características del vertedero.

2. MODELO DE CALCULO DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Como acabamos de comentar, utilizaremos el modelo que está basado en una ecuación de primer orden, el “LandGem (Landfill Gas Emissions Model)”.

La ecuación de primer orden viene definida de la siguiente manera:

$$Q_{CH_4} = \sum_{t=1}^n \sum_{j=0.1}^1 kL_0 \left(\frac{M_i}{10} \right) e^{-kt_{ij}} \quad (1)$$

Donde,

- Q_{CH_4} = generación anual de metano en el año de cálculo ($m^3/año$)
- i = incrementos de 1 año
- n = (año de cálculo)-(año de inicio de disposición de residuos)

- j = incrementos de 0,1 año.
- L_0 : Potencial de generación de metano (m^3/Mg)
- k = tasa de generación de metano ($año^{-1}$)
- M_i = cantidad de residuos aceptados en el año “i” (toneladas)
- t_{ij} = edad de la sección “j” de residuos “ M_i ” aceptados en el año “i”

3. PRODUCCIÓN DE BIOGAS

Una vez definido el modelo que se va a utilizar para calcular la producción de biogás en el vertedero, procedemos a definir los datos que el modelo demanda:

- Año de apertura.
- Año de clausura.
- Cantidad de residuos depositados.
- Porcentaje de metano en el biogás.
- Nivel de precipitaciones.

3.1. PARAMETOS DE ENTRADA

Los parámetros necesarios para el funcionamiento del programa han sido definidos en el apartado “Requisitos de diseño” de la memoria.

3.1.1. Composición y cantidad de residuos

La cantidad de biogás que se produce depende de la cantidad de residuos que se depositan en el vertedero y la composición de estos, ya que la materia orgánica y los materiales celulósicos son los que nos proporcionan e biogás.

Como materiales biodegradables se conocen dos tipos, los de lenta degradación porque sus moléculas orgánicas no son solubles en agua (papel, cartón, derivados de la madera, etc.), por lo que es necesario que se hidrolicen previamente. El otro tipo son los de rápida degradación (restos de comida, restos de jardinería, etc.), esto sucede porque contienen un elevado porcentaje en humedad y por su composición molecular. Debemos tener en cuenta que un exceso de materiales de rápida degradación podría retrasar la generación de metano, por el hecho de que se reduce el pH.

La composición de los residuos del vertedero de Cervera del Maestre está definido en el apartado 6.2.1 de la presente Memoria, y que los podemos ver en la tabla A1.1.

Tabla M1.1. Caracterización de los residuos que llegan a vertedero.

FRACCION	% PESO
Orgánica	3,14
Celulósica	32,89
Resto	63,97

Además de la composición de los residuos que llegan al vertedero, es necesario conocer la cantidad de residuos que se depositan en este anualmente. La cantidad de residuos depositados y las previsiones han sido proporcionadas por la empresa, a continuación en la tabla A1.2 se muestran la cantidad de residuos depositados desde su apertura en el año 2012 hasta el año de clausura en el año 2030.

Tabla A1.2. Cantidad de residuos depositados en los 30 años.

AÑO	TOTAL DE RECHAZOS (Ton)
2012	31.060
2013	29.207
2014	29.207
2015	29.207
2016	27.170
2017	27.170
2018	27.170
2019	27.170
2020	27.170
2021	25.110
2022	25.110
2023	25.110
2024	25.110
2025	25.110
2026	25.110
2027	25.110
2028	25.110
2029	25.110
2030	25.110

3.1.2. Índice de generación de metano

El índice de generación de metano está definido por la letra k , este determina la cantidad de metano que se producirá a partir de los residuos que se han introducido en el vertedero. A mayor valor de k , la cantidad de metano generado será mayor.

La tasa de generación de metano varía en función de cuatro factores:

- Humedad de los residuos.
- Temperatura de los residuos.
- pH de los residuos.
- Disponibilidad de nutrientes para los microorganismos que descomponen los residuos para formar metano y dióxido de carbono.

Algunos de estos factores son difíciles de determinar como el pH en el interior del vertedero, aunque suponemos que este evolucionara con las fases de generación de biogás obteniendo valores óptimos. La humedad es un factor que no podemos conocer con certeza ya que la heterogeneidad de los residuos y el tratamiento al que son sometidos previamente a ser depositados en el vertedero hace que se reduzca considerablemente, en este caso la humedad la obtendremos en relación a las precipitaciones anuales que se producen en la zona donde se sitúa el vertedero. La disponibilidad de los nutrientes vendrá dada por la caracterización y la composición de los residuos. Y finalmente, la temperatura la consideraremos constante, ya que las reacciones biológicas producen calor, además de que se producen a una profundidad de 25 metros, por lo que las condiciones ambientales no afectarán a esta.

Los valores de k que nos ofrece el LandGem se pueden ver en la figura A1.1.:

Figura A1.1. Valores de LandGEM para el índice de generación de metano.

Default Type	Landfill Type	<i>k</i> Value year ⁻¹
CAA	Conventional	0.05 (default)
CAA	Arid Area	0.02
Inventory	Conventional	0.04
Inventory	Arid Area	0.02
Inventory	Wet (Bioreactor)	0.7

La EPA ha determinado para el LandGem que se considerará vertederos de zona árida aquellos que reciban menos de 635 mm de lluvia al año.

Como podemos ver en el apartado 8.3 *Climatología* de la memoria, se han calculado la media anual de las precipitaciones de la zona en la que se sitúa el vertedero, dando como resultado una media de 595 mm de precipitaciones anuales, por lo que consideraremos que el valor de *k* será el dado para “Arid Area” siendo este igual a 0.02 años-1.

El valor utilizado será el dado por el “Inventory” ya que para realizar el estudio compararemos los resultados con el vertedero tipo “Wet (Bioreactor)” que también viene dado por el “Inventory”.

3.1.3. Capacidad potencial de generación de metano

La capacidad potencial de generación de metano, L_0 , sólo depende del tipo y la composición de los residuos colocado en el relleno sanitario. Cuanto mayor sea el contenido de celulosa de los residuos, mayor es la valor de L_0 . Los valores por defecto utilizados por L_0 LandGEM son representativos de los RSU. El valor de L_0 , al utilizarse en la ecuación de velocidad de descomposición de primer orden, se mide en unidades métricas de metros cúbicos por Megagramo (Toneladas).

Los valores de L_0 que nos proporciona el LandGem se pueden ver en la figura A1.2.:

Figura A1.2. Valores de LandGEM para el potencial de generación de metano.

Emission Type	Landfill Type	L_o Value - m^3/Mg
CAA	Conventional	170 (default)
CAA	Arid Area	170
Inventory	Conventional	100
Inventory	Arid Area	100
Inventory	Wet (Bioreactor)	96

Como se ha comentado en el apartado anterior, se considera que el vertedero está situado en “Arid Area” y además al haber utilizado el valor de “Inventory” para la tasa de generación de metano, aquí se debe utilizar el mismo para la capacidad potencial de generación de metano. El valor de L_o será $100 m^3/Mg$ (Ton).

3.1.1. Concentración de compuestos orgánicos no metanigenos (NMOCC)

La concentración de NMOCC en el biogás viene determinada por el tipo de residuo en el vertedero y el grado de las reacciones que producen diversos compuestos de la descomposición anaeróbica de los residuos.

La concentración de NMOC se mide en unidades de partes por millón en volumen (ppmv). El programa nos da un valor por defecto, el valor dado por la *Clean Air Act* (CAA) es de 400 ppmv, pero al igual que para los parámetros anteriores existen valores alternativos, en concreto dos valores que ofrece el programa, un de 600 ppmv para los vertederos que no contienen residuos peligrosos y de 2400 ppmv en los que si se han depositado residuos peligrosos.

En el vertedero de Cervera del Maestre no existe la deposición de residuos peligrosos en el vertedero, por lo que como en los anteriores casos se escogerá el valor del “Inventory” para vertederos que no contienen residuos peligrosos. El valor del NMOCC es de 600 ppmv.

3.1.2. Contenido en metano

LandGem asume que el biogás contiene un 50% de dióxido de carbono y un 50% de metano, además de otros gases que están en muy baja medida. Por lo tanto, el valor que ofrece por defecto la CAA es de un contenido en metano del 50% en volumen.

Por otra parte, como se ha visto en los apartados anteriores, el programa ofrece introducir otros valores de porcentajes, pero recomienda no trabajar con valores de contenido en metano fuera del rango 40 – 60 %, ya que la ecuación de primer orden que LandGem utiliza para determinarlas emisiones no es válida fuera de ese intervalo.

Esta ecuación de primer orden determina la producción de metano, la cual no se ve afectada por la concentración de metano. Por el contrario, la concentración de metano si que afecta al cálculo de la producción de dióxido de carbono, por esto es importante conocer la concentración de metano en el biogás.

La producción de dióxido de carbono se determina a partir de la producción de metano y la concentración de metano a partir de las ecuaciones (13) y (14) que se ven a continuación.

$$Q_{total} = Q_{CH_4} + Q_{CO_2} \quad (13)$$

$$Q_{CH_4} = Q_{total} \times \left(\frac{P_{CH_4}}{100} \right) \quad (14)$$

De estas dos ecuaciones obtenemos la ecuación (15) que dará la producción de dióxido de carbono:

$$Q_{CO_2} = Q_{CH_4} \times \left\{ \left[\frac{1}{\left(\frac{P_{CH_4}}{100} \right)} \right] - 1 \right\} \quad (15)$$

La concentración que se introduce en LandGem para el vertedero de Cervera del Maestre será la obtenida en los muestreos realizados para el control de los gases de vertedero que se producen en el vertedero.

$$\% CH_4 = 40$$

3.1.3. Parámetros de los gases contaminantes

El LandGem ofrece unos valores para los gases/contaminantes que son necesarios para estimar la producción de biogás, según el “Office of Air Quality Planning and Standards” de la EPA. Estos parámetros se muestran en la tabla A1.3.:

Tabla A1.3. Parámetros de los gases/contaminantes.

	Compound	Concentration (ppmv)	Molecular Weight	Notes
Gases	Total landfill gas		28,42	
	Methane		16,04	
	Carbon dioxide		44,01	
	NMOC	600	86,18	
Pollutants	1,1,1-Trichloroethane (methyl chloroform) - HAP	0,48	133,41	A
	1,1,2,2-Tetrachloroethane - HAP/VOC	1,1	167,85	A, B
	1,1-Dichloroethane (ethylidene dichloride) - HAP/VOC	2,4	98,97	A, B
	1,1-Dichloroethene (vinylidene chloride) - HAP/VOC	0,20	96,94	A, B
	1,2-Dichloroethane (ethylene dichloride) - HAP/VOC	0,41	98,96	A, B
	1,2-Dichloropropane (propylene dichloride) - HAP/VOC	0,18	112,99	A, B
	2-Propanol (isopropyl alcohol) - VOC	50	60,11	B
	Acetone	7,0	58,08	
	Acrylonitrile - HAP/VOC	6,3	53,06	A, B
	Benzene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC	1,9	78,11	A, B
	Benzene - Co-disposal - HAP/VOC	11	78,11	A, B
	Bromodichloromethane - VOC	3,1	163,83	B
	Butane - VOC	5,0	58,12	B
	Carbon disulfide - HAP/VOC	0,58	76,13	A, B
	Carbon monoxide	140	28,01	
	Carbon tetrachloride - HAP/VOC	4,0E-03	153,84	A, B
	Carbonyl sulfide - HAP/VOC	0,49	60,07	A, B
	Chlorobenzene - HAP/VOC	0,25	112,56	A, B
	Chlorodifluoromethane	1,3	86,47	
	Chloroethane (ethyl chloride) - HAP/VOC	1,3	64,52	A, B

Chloroform - HAP/VOC	0,03	119,39	A, B
Chloromethane - VOC	1,2	50,49	B
Dichlorobenzene - (HAP for para isomer/VOC)	0,21	147	B, C
Dichlorodifluoromethane	16	120,91	
Dichlorofluoromethane - VOC	2,6	102,92	B
Dichloromethane (methylene chloride) - HAP	14	84,94	A
Dimethyl sulfide (methyl sulfide) - VOC	7,8	62,13	B
Ethane	890	30,07	
Ethanol - VOC	27	46,08	B
Ethyl mercaptan (ethanethiol) - VOC	2,3	62,13	B
Ethylbenzene - HAP/VOC	4,6	106,16	A, B
Ethylene dibromide - HAP/VOC	1,0E-03	187,88	A, B
Fluorotrichloromethane - VOC	0,76	137,38	B
Hexane - HAP/VOC	6,6	86,18	A, B
Hydrogen sulfide	36	34,08	
Mercury (total) - HAP	2,9E-04	200,61	A
Methyl ethyl ketone - HAP/VOC	7,1	72,11	A, B
Methyl isobutyl ketone - HAP/VOC	1,9	100,16	A, B
Methyl mercaptan - VOC	2,5	48,11	B
Pentane - VOC	3,3	72,15	B
Perchloroethylene (tetrachloroethylene) - HAP	3,7	165,83	A
Propane - VOC	11	44,09	B
t-1,2-Dichloroethene - VOC	2,8	96,94	B
Toluene - No or Unknown Co-disposal - HAP/VOC	39	92,13	A, B
Toluene - Co-disposal - HAP/VOC	170	92,13	A, B
Trichloroethylene (trichloroethene) - HAP/VOC	2,8	131,40	A, B
Vinyl chloride - HAP/VOC	7,3	62,50	A, B
Xylenes - HAP/VOC	12	106,16	A, B

4. CANTIDAD DE BIOGÁS PRODUCIDO

Terminados de definir los diferentes valores de los parámetros requeridos por el programa, se reproduce la producción de biogás. Cabe decir que el estudio de producción de biogás se realizará a partir de dos situaciones completamente diferentes, primero se estimará la producción de biogás en las condiciones actuales que tiene el vertedero para así conocer la cantidad de biogás que se está produciendo, y la segunda situación va dirigida a estimar la producción de biogás aumentando la humedad de los residuos que hay en el interior del vertedero, estas condiciones son las de un biorreactor, y el aumento del grado de humedad se realizará mediante la adición de lixiviado y agua si fuera necesaria.

4.1. Producción de biogás a condiciones actuales.

Los datos de entrada para la simulación sin la adición de lixiviados se ven en la siguiente tabla A1.4.:

Tabla A1.4. Datos de entrada del programa LandGEM.

LANDFILL CHARACTERISTICS		
Landfill Open Year	2012	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030	
Actual Closure Year (without limit)	2030	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		megagrams
MODEL PARAMETERS		
Methane Generation Rate, k	0,020	year ⁻¹
Potential Methane Generation Capacity, L ₀	100	m ³ /Mg
NMOC Concentration	600	ppmv as hexane
Methane Content	40	% by volume
GASES / POLLUTANTS SELECTED		
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas	
Gas / Pollutant #2:	Methane	
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #4:	NMOC	
WASTE ACCEPTANCE RATES		
Year	(Mg/year)	(short tons/year)
2012	31.060	34.166
2013	29.207	32.128

2014	29.207	32.128
2015	29.207	32.128
2016	27.170	29.887
2017	27.170	29.887
2018	27.170	29.887
2019	27.170	29.887
2020	27.170	29.887
2021	25.110	27.621
2022	25.110	27.621
2023	25.110	27.621
2024	25.110	27.621
2025	25.110	27.621
2026	25.110	27.621
2027	25.110	27.621
2028	25.110	27.621
2029	25.110	27.621
2030	25.110	27.621

Los resultados se muestran a partir de dos valores, en megagramos (toneladas) y en metros cúbicos por año. El contenido de estas gráficas está constituido por la cantidad de gases de vertedero totales que se generan, de los cuales también son representados los dos más importantes, el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂), y el resto de los gases que son los agrupados como COVNM.

Probablemente la generación de biogás que estima el programa no sea del todo representativa, ya que en el vertedero de Cervera del Maestre los residuos se someten a un tratamiento, definido en el apartado 7 “*Descripción del proceso BIOCUBI*” de la memoria, en el que se elimina casi toda la materia orgánica de rápida degradación con el fin de producir compost, además de que el tratamiento también reduce la humedad de los residuos por lo que las reacciones se detienen casi en su totalidad. Esto significa que la cantidad producida será ligeramente inferior a la representada por el programa, y se deduce que los residuos de lenta degradación son los que producen mayor cantidad de biogás.

A continuación se adjunta la tabla A1.5. de resultados junto a las figuras A1.3 y A1.4 de la primera simulación:

Tabla A1.5. Resultados obtenidos por el LandGEM a condiciones normales.

Year	Total landfill gas		Methane		Carbon dioxide		NMOC	
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)
2030	0	0	0	0	0	0	0	0
2031	1,819E+02	1,54E+05	4,107E+01	6,156E+04	1,690E+02	9,235E+04	3,310E-01	9,235E+01
2032	3,494E+02	2,96E+05	7,888E+01	1,182E+05	3,246E+02	1,774E+05	6,357E-01	1,774E+02
2033	5,136E+02	4,34E+05	1,159E+02	1,738E+05	4,772E+02	2,607E+05	9,344E-01	2,607E+02
2034	6,745E+02	5,71E+05	1,523E+02	2,282E+05	6,267E+02	3,424E+05	1,227E+00	3,424E+02
2035	8,203E+02	6,94E+05	1,852E+02	2,776E+05	7,621E+02	4,164E+05	1,492E+00	4,164E+02
2036	9,632E+02	8,15E+05	2,174E+02	3,259E+05	8,949E+02	4,889E+05	1,752E+00	4,889E+02
2037	1,103E+03	9,33E+05	2,491E+02	3,733E+05	1,025E+03	5,600E+05	2,007E+00	5,600E+02
2038	1,241E+03	1,05E+06	2,801E+02	4,198E+05	1,153E+03	6,297E+05	2,257E+00	6,297E+02
2039	1,375E+03	1,16E+06	3,104E+02	4,653E+05	1,278E+03	6,980E+05	2,502E+00	6,980E+02
2040	1,495E+03	1,26E+06	3,375E+02	5,059E+05	1,389E+03	7,588E+05	2,720E+00	7,588E+02
2041	1,613E+03	1,36E+06	3,640E+02	5,456E+05	1,498E+03	8,185E+05	2,934E+00	8,185E+02
2042	1,728E+03	1,46E+06	3,900E+02	5,846E+05	1,605E+03	8,769E+05	3,143E+00	8,769E+02
2043	1,841E+03	1,56E+06	4,155E+02	6,228E+05	1,710E+03	9,342E+05	3,349E+00	9,342E+02
2044	1,951E+03	1,65E+06	4,405E+02	6,602E+05	1,813E+03	9,904E+05	3,550E+00	9,904E+02
2045	2,060E+03	1,74E+06	4,650E+02	6,969E+05	1,914E+03	1,045E+06	3,747E+00	1,045E+03
2046	2,166E+03	1,83E+06	4,890E+02	7,329E+05	2,012E+03	1,099E+06	3,941E+00	1,099E+03
2047	2,270E+03	1,92E+06	5,125E+02	7,682E+05	2,109E+03	1,152E+06	4,130E+00	1,152E+03
2048	2,372E+03	2,01E+06	5,355E+02	8,027E+05	2,204E+03	1,204E+06	4,316E+00	1,204E+03
2049	2,472E+03	2,09E+06	5,581E+02	8,366E+05	2,297E+03	1,255E+06	4,498E+00	1,255E+03
2050	2,423E+03	2,05E+06	5,471E+02	8,200E+05	2,252E+03	1,230E+06	4,409E+00	1,230E+03
2051	2,375E+03	2,01E+06	5,363E+02	8,038E+05	2,207E+03	1,206E+06	4,322E+00	1,206E+03
2052	2,328E+03	1,97E+06	5,256E+02	7,879E+05	2,163E+03	1,182E+06	4,236E+00	1,182E+03
2053	2,282E+03	1,93E+06	5,152E+02	7,723E+05	2,120E+03	1,158E+06	4,152E+00	1,158E+03
2054	2,237E+03	1,89E+06	5,050E+02	7,570E+05	2,079E+03	1,135E+06	4,070E+00	1,135E+03
2055	2,193E+03	1,86E+06	4,950E+02	7,420E+05	2,037E+03	1,113E+06	3,990E+00	1,113E+03
2056	2,149E+03	1,82E+06	4,852E+02	7,273E+05	1,997E+03	1,091E+06	3,911E+00	1,091E+03
2057	2,107E+03	1,78E+06	4,756E+02	7,129E+05	1,957E+03	1,069E+06	3,833E+00	1,069E+03
2058	2,065E+03	1,75E+06	4,662E+02	6,988E+05	1,919E+03	1,048E+06	3,757E+00	1,048E+03
2059	2,024E+03	1,71E+06	4,570E+02	6,850E+05	1,881E+03	1,027E+06	3,683E+00	1,027E+03
2060	1,984E+03	1,68E+06	4,479E+02	6,714E+05	1,843E+03	1,007E+06	3,610E+00	1,007E+03
2061	1,945E+03	1,65E+06	4,390E+02	6,581E+05	1,807E+03	9,871E+05	3,538E+00	9,871E+02
2062	1,906E+03	1,61E+06	4,304E+02	6,451E+05	1,771E+03	9,676E+05	3,468E+00	9,676E+02
2063	1,869E+03	1,58E+06	4,218E+02	6,323E+05	1,736E+03	9,484E+05	3,400E+00	9,484E+02
2064	1,832E+03	1,55E+06	4,135E+02	6,198E+05	1,702E+03	9,297E+05	3,332E+00	9,297E+02
2065	1,795E+03	1,52E+06	4,053E+02	6,075E+05	1,668E+03	9,113E+05	3,266E+00	9,113E+02
2066	1,760E+03	1,49E+06	3,973E+02	5,955E+05	1,635E+03	8,932E+05	3,202E+00	8,932E+02
2067	1,725E+03	1,46E+06	3,894E+02	5,837E+05	1,603E+03	8,755E+05	3,138E+00	8,755E+02
2068	1,691E+03	1,43E+06	3,817E+02	5,721E+05	1,571E+03	8,582E+05	3,076E+00	8,582E+02
2069	1,657E+03	1,40E+06	3,741E+02	5,608E+05	1,540E+03	8,412E+05	3,015E+00	8,412E+02
2070	1,624E+03	1,37E+06	3,667E+02	5,497E+05	1,509E+03	8,245E+05	2,956E+00	8,245E+02
2071	1,592E+03	1,35E+06	3,595E+02	5,388E+05	1,479E+03	8,082E+05	2,897E+00	8,082E+02
2072	1,561E+03	1,32E+06	3,523E+02	5,281E+05	1,450E+03	7,922E+05	2,840E+00	7,922E+02
2073	1,530E+03	1,29E+06	3,454E+02	5,177E+05	1,421E+03	7,765E+05	2,783E+00	7,765E+02
2074	1,500E+03	1,27E+06	3,385E+02	5,074E+05	1,393E+03	7,611E+05	2,728E+00	7,611E+02

2075	1,470E+03	1,24E+06	3,318E+02	4,974E+05	1,366E+03	7,461E+05	2,674E+00	7,461E+02
2076	1,441E+03	1,22E+06	3,253E+02	4,875E+05	1,339E+03	7,313E+05	2,621E+00	7,313E+02
2077	1,412E+03	1,19E+06	3,188E+02	4,779E+05	1,312E+03	7,168E+05	2,569E+00	7,168E+02
2078	1,384E+03	1,17E+06	3,125E+02	4,684E+05	1,286E+03	7,026E+05	2,519E+00	7,026E+02

Figura A1.3. Producción de biogás a condiciones normales (megagramos/año)

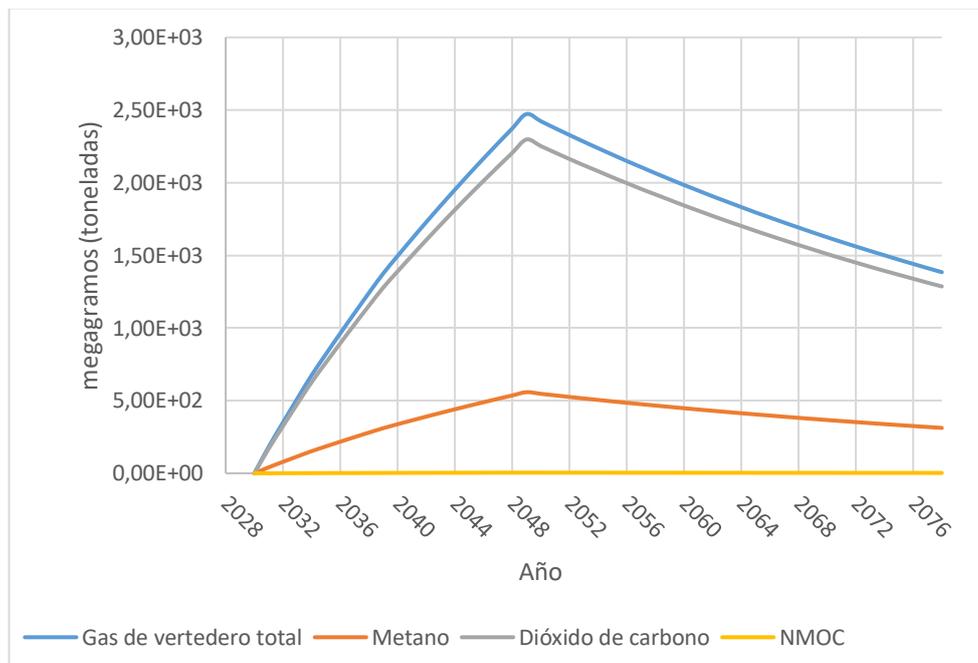
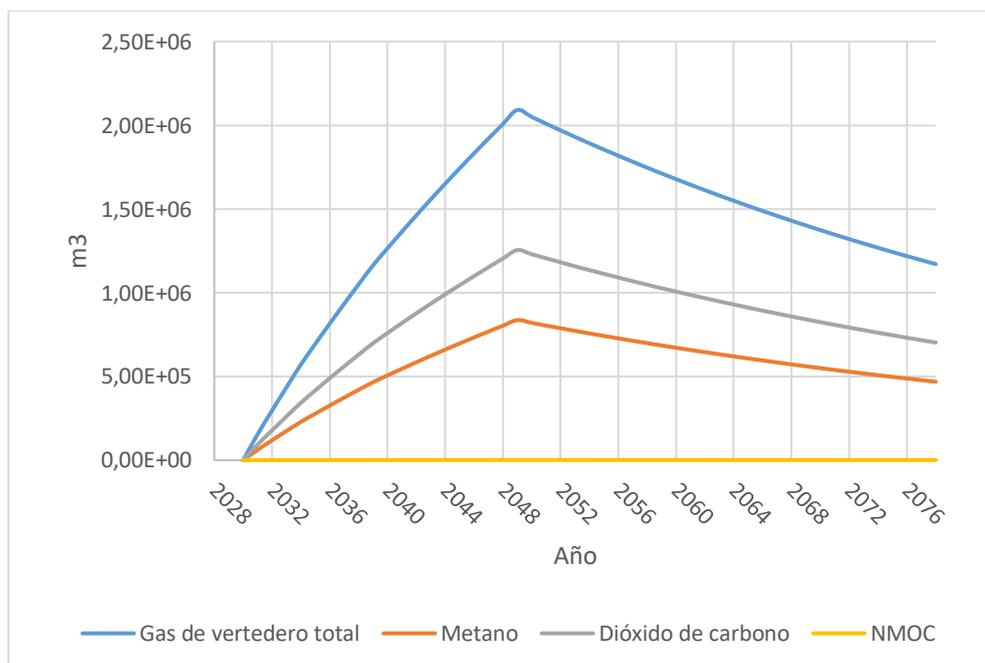


Figura A1.4. Producción de biogás a condiciones normales (m³/año)



Como se puede observar, la estimación del LandGEM llega a superar un período de unos 46 años, y como se puede apreciar en las gráficas, aunque es una cantidad relativamente baja, aun se producen gases. Esto se ve como algo normal por el hecho de que la fase metanogénica, donde se produce la mayor cantidad de biogás, puede durar desde años hasta décadas y dependiendo de los diferentes parámetros a los que hemos hecho referencia.

Tal y como se puede ver en las gráficas vemos que los valores más altos de producción de biogás están entre 2029 y 2035.

4.2. Producción de biogás a condiciones de biorreactor.

Ahora se simularán los datos utilizando los valores del LandGEM que representan el funcionamiento de un biorreactor activable, con esto se podrá valorar la viabilidad de instalar el biorreactor en el vertedero de Cervera del maestro.

La tabla A1.6 con los nuevos valores para las variables se puede ver a continuación:

Tabla A1.6. Datos de entrada para el LandGEM.

LANDFILL CHARACTERISTICS		
Landfill Open Year	2012	
Landfill Closure Year (with 80-year limit)	2030	
Actual Closure Year (without limit)	2030	
Have Model Calculate Closure Year?	No	
Waste Design Capacity		megagrams
MODEL PARAMETERS		
Methane Generation Rate, k	0,700	year ⁻¹
Potential Methane Generation Capacity, L _o	96	m ³ /Mg
NMOC Concentration	600	ppmv as hexane
Methane Content	40	% by volume
GASES / POLLUTANTS SELECTED		
Gas / Pollutant #1:	Total landfill gas	
Gas / Pollutant #2:	Methane	
Gas / Pollutant #3:	Carbon dioxide	
Gas / Pollutant #4:	NMOC	
WASTE ACCEPTANCE RATES		

Year	(Mg/year)	(short tons/year)
2012	31.060	34.166
2013	29.207	32.128
2014	29.207	32.128
2015	29.207	32.128
2016	27.170	29.887
2017	27.170	29.887
2018	27.170	29.887
2019	27.170	29.887
2020	27.170	29.887
2021	25.110	27.621
2022	25.110	27.621
2023	25.110	27.621
2024	25.110	27.621
2025	25.110	27.621
2026	25.110	27.621
2027	25.110	27.621
2028	25.110	27.621
2029	25.110	27.621
2030	25.110	27.621

La simulación que se ha realizado con estos datos representa el funcionamiento de un biorreactor activable, de manera que se aumenta el grado de humedad en el interior del vertedero para que la actividad microbiana aumente y degrade la materia orgánica con mayor rapidez.

Los datos que se representan en las gráficas son los mismos que en la anterior simulación, ya que se pretende comparar los datos para conocer la cantidad de biogás que se puede producir.

La tabla A1.7 de resultados junto a las figuras A1.5 y A1.6 las podemos ver a continuación:

Tabla A1.7. Resultados obtenidos por el LandGEM a condiciones de biorreactor.

Year	Total landfill gas		Methane		Carbon dioxide		NMOC	
	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)	(Mg/year)	(m ³ /year)
2030	0	0	0	0	0	0	0	0
2031	4,593E+03	3,886E+06	1,037E+03	1,554E+06	4,267E+03	2,331E+06	8,357E+00	2,331E+03

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS EN UN VERTEDERO DE RESIDUOS
SOLIDOS URBANOS

2032	6,600E+03	5,583E+06	1,490E+03	2,233E+06	6,132E+03	3,350E+06	1,201E+01	3,350E+03
2033	7,597E+03	6,426E+06	1,715E+03	2,571E+06	7,058E+03	3,856E+06	1,382E+01	3,856E+03
2034	8,091E+03	6,845E+06	1,827E+03	2,738E+06	7,518E+03	4,107E+06	1,472E+01	4,107E+03
2035	8,036E+03	6,798E+06	1,814E+03	2,719E+06	7,466E+03	4,079E+06	1,462E+01	4,079E+03
2036	8,008E+03	6,775E+06	1,808E+03	2,710E+06	7,441E+03	4,065E+06	1,457E+01	4,065E+03
2037	7,995E+03	6,763E+06	1,805E+03	2,705E+06	7,428E+03	4,058E+06	1,455E+01	4,058E+03
2038	7,988E+03	6,757E+06	1,803E+03	2,703E+06	7,422E+03	4,054E+06	1,453E+01	4,054E+03
2039	7,985E+03	6,755E+06	1,803E+03	2,702E+06	7,418E+03	4,053E+06	1,453E+01	4,053E+03
2040	7,678E+03	6,495E+06	1,733E+03	2,598E+06	7,134E+03	3,897E+06	1,397E+01	3,897E+03
2041	7,526E+03	6,367E+06	1,699E+03	2,547E+06	6,993E+03	3,820E+06	1,369E+01	3,820E+03
2042	7,451E+03	6,303E+06	1,682E+03	2,521E+06	6,922E+03	3,782E+06	1,356E+01	3,782E+03
2043	7,413E+03	6,271E+06	1,673E+03	2,508E+06	6,888E+03	3,763E+06	1,349E+01	3,763E+03
2044	7,394E+03	6,255E+06	1,669E+03	2,502E+06	6,870E+03	3,753E+06	1,345E+01	3,753E+03
2045	7,385E+03	6,248E+06	1,667E+03	2,499E+06	6,862E+03	3,749E+06	1,344E+01	3,749E+03
2046	7,381E+03	6,244E+06	1,666E+03	2,497E+06	6,857E+03	3,746E+06	1,343E+01	3,746E+03
2047	7,378E+03	6,242E+06	1,666E+03	2,497E+06	6,855E+03	3,745E+06	1,342E+01	3,745E+03
2048	7,377E+03	6,241E+06	1,665E+03	2,496E+06	6,854E+03	3,744E+06	1,342E+01	3,744E+03
2049	7,377E+03	6,240E+06	1,665E+03	2,496E+06	6,854E+03	3,744E+06	1,342E+01	3,744E+03
2050	3,663E+03	3,099E+06	8,269E+02	1,240E+06	3,403E+03	1,859E+06	6,665E+00	1,859E+03
2051	1,819E+03	1,539E+06	4,107E+02	6,155E+05	1,690E+03	9,233E+05	3,310E+00	9,233E+02
2052	9,033E+02	7,642E+05	2,039E+02	3,057E+05	8,393E+02	4,585E+05	1,643E+00	4,585E+02
2053	4,486E+02	3,795E+05	1,013E+02	1,518E+05	4,168E+02	2,277E+05	8,161E-01	2,277E+02
2054	2,228E+02	1,884E+05	5,029E+01	7,538E+04	2,070E+02	1,131E+05	4,053E-01	1,131E+02
2055	1,106E+02	9,358E+04	2,497E+01	3,743E+04	1,028E+02	5,615E+04	2,013E-01	5,615E+01
2056	5,493E+01	4,647E+04	1,240E+01	1,859E+04	5,104E+01	2,788E+04	9,994E-02	2,788E+01
2057	2,728E+01	2,308E+04	6,158E+00	9,230E+03	2,534E+01	1,385E+04	4,963E-02	1,385E+01
2058	1,355E+01	1,146E+04	3,058E+00	4,584E+03	1,259E+01	6,875E+03	2,464E-02	6,875E+00
2059	6,727E+00	5,690E+03	1,519E+00	2,276E+03	6,250E+00	3,414E+03	1,224E-02	3,414E+00
2060	3,340E+00	2,826E+03	7,541E-01	1,130E+03	3,104E+00	1,695E+03	6,077E-03	1,695E+00
2061	1,659E+00	1,403E+03	3,745E-01	5,613E+02	1,541E+00	8,419E+02	3,018E-03	8,419E-01
2062	8,237E-01	6,968E+02	1,860E-01	2,787E+02	7,653E-01	4,181E+02	1,499E-03	4,181E-01
2063	4,090E-01	3,460E+02	9,234E-02	1,384E+02	3,800E-01	2,076E+02	7,442E-04	2,076E-01
2064	2,031E-01	1,718E+02	4,586E-02	6,873E+01	1,887E-01	1,031E+02	3,696E-04	1,031E-01
2065	1,009E-01	8,533E+01	2,277E-02	3,413E+01	9,372E-02	5,120E+01	1,835E-04	5,120E-02
2066	5,009E-02	4,237E+01	1,131E-02	1,695E+01	4,654E-02	2,542E+01	9,113E-05	2,542E-02
2067	2,487E-02	2,104E+01	5,615E-03	8,417E+00	2,311E-02	1,263E+01	4,526E-05	1,263E-02
2068	1,235E-02	1,045E+01	2,788E-03	4,180E+00	1,148E-02	6,270E+00	2,247E-05	6,270E-03
2069	6,134E-03	5,189E+00	1,385E-03	2,076E+00	5,699E-03	3,113E+00	1,116E-05	3,113E-03
2070	3,046E-03	2,577E+00	6,876E-04	1,031E+00	2,830E-03	1,546E+00	5,542E-06	1,546E-03
2071	1,513E-03	1,280E+00	3,415E-04	5,118E-01	1,405E-03	7,677E-01	2,752E-06	7,677E-04
2072	7,511E-04	6,354E-01	1,696E-04	2,542E-01	6,979E-04	3,813E-01	1,367E-06	3,813E-04
2073	3,730E-04	3,155E-01	8,420E-05	1,262E-01	3,466E-04	1,893E-01	6,786E-07	1,893E-04
2074	1,852E-04	1,567E-01	4,181E-05	6,268E-02	1,721E-04	9,402E-02	3,370E-07	9,402E-05
2075	9,198E-05	7,781E-02	2,076E-05	3,112E-02	8,546E-05	4,669E-02	1,673E-07	4,669E-05
2076	4,568E-05	3,864E-02	1,031E-05	1,546E-02	4,244E-05	2,318E-02	8,310E-08	2,318E-05
2077	2,268E-05	1,919E-02	5,121E-06	7,675E-03	2,107E-05	1,151E-02	4,127E-08	1,151E-05
2078	1,126E-05	9,528E-03	2,543E-06	3,811E-03	1,047E-05	5,717E-03	2,049E-08	5,717E-06

Figura A1.4. Producción de biogás a condiciones de biorreactor (megagramos/año)

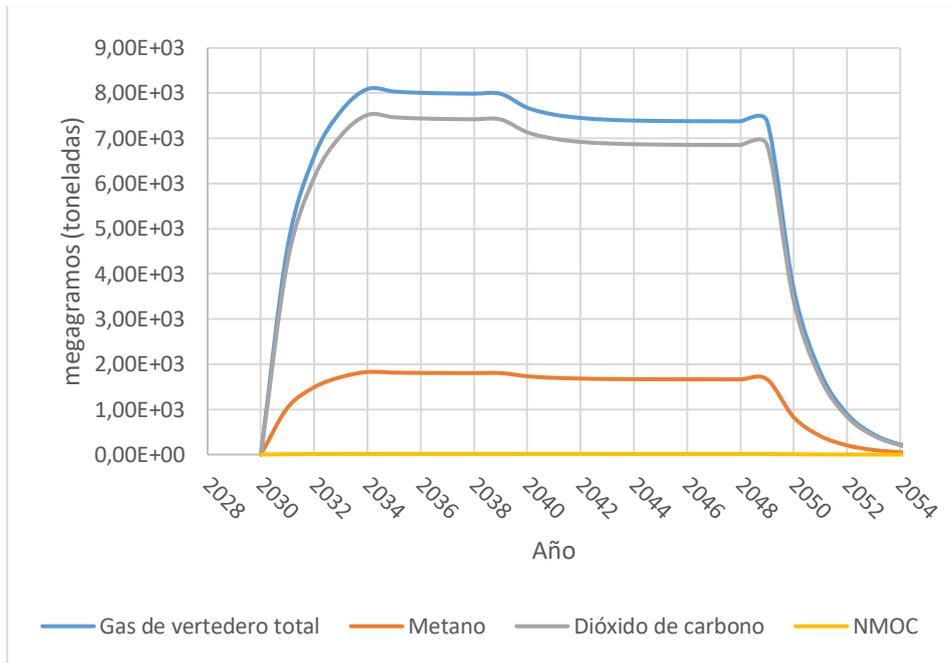
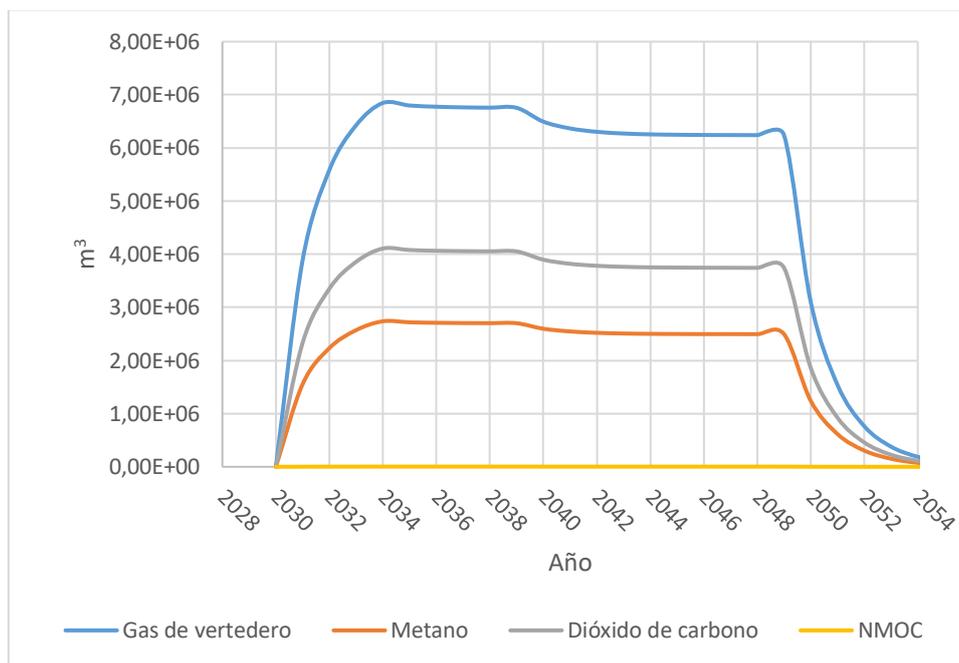


Figura A1.6. Producción de biogás a condiciones de biorreactor (m³/año)



En esta representación se ve como la curva cambia radicalmente, de manera que se consigue llegar a la máxima producción de biogás en el quinto año (2034). La producción se mantiene prácticamente constante durante los siguientes cinco años, en este momento vuelve a bajar ligeramente para mantenerse constante de nuevo desde el año 2042 hasta el 2049, es en este momento cuando empieza a bajar radicalmente hasta volverse

prácticamente cero. Se podría considerar que la producción de biogás es nula a partir del año 2056.

Tal y como se ha comentado, los residuos que llegan al vertedero están exentos de materia orgánica de rápida degradación, factor el cual el programa no considera. Cómo se conocen las caracterizaciones de entrada y salida de los rechazos de la planta de tratamiento se establece un factor de corrección para obtener una producción aproximada a la real. La tabla A1.8 muestra los porcentajes de materia biodegradable antes y después del tratamiento.

Tabla A1.8. Factor de corrección para la producción de biogás.

	Antes del tratamiento (%)	Después del tratamiento (%)
Materia biodegradable	57,36	36,03
Resto	42,64	63,97

El factor de corrección obtenido entre la relación de los porcentajes es un 63%. Por lo que la cantidad real de biogás producida será el 63% del valor del LandGEM. Este dato será utilizado más adelante para calcular la energía producida por los residuos.

Se debe tener en cuenta también que la cantidad de residuos que se ha introducido en el LandGEM, es la estimada por el vertedero para rellenar el vaso desde el fondo del vaso hasta cota cero y por encima de cota. El estudio de producción de biogás está contemplado para el llenado hasta cota cero. Por este motivo se ha calculado el porcentaje para que los resultados se refieran hasta cota cero. El cálculo ha dado como resultado que el 68% de residuos que se introducen en el vertedero son los que hay hasta cota cero.

Las figuras A1.6 y A1.7 muestran el resultado de las gráficas después de la corrección.

Figura A1.6. Producción de biogás en mega gramos. Representación de los residuos hasta cota cero.

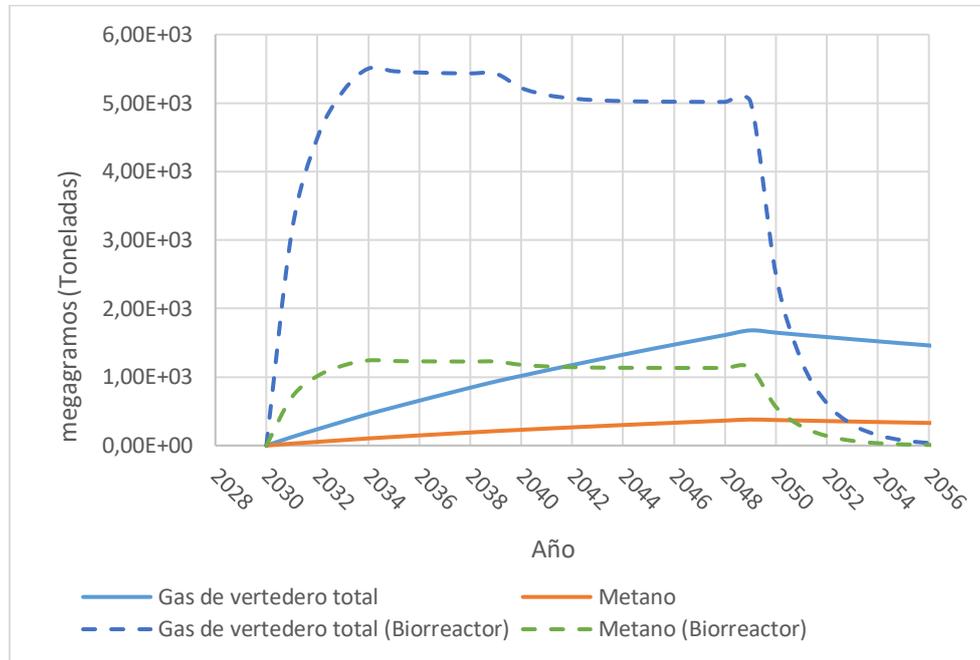
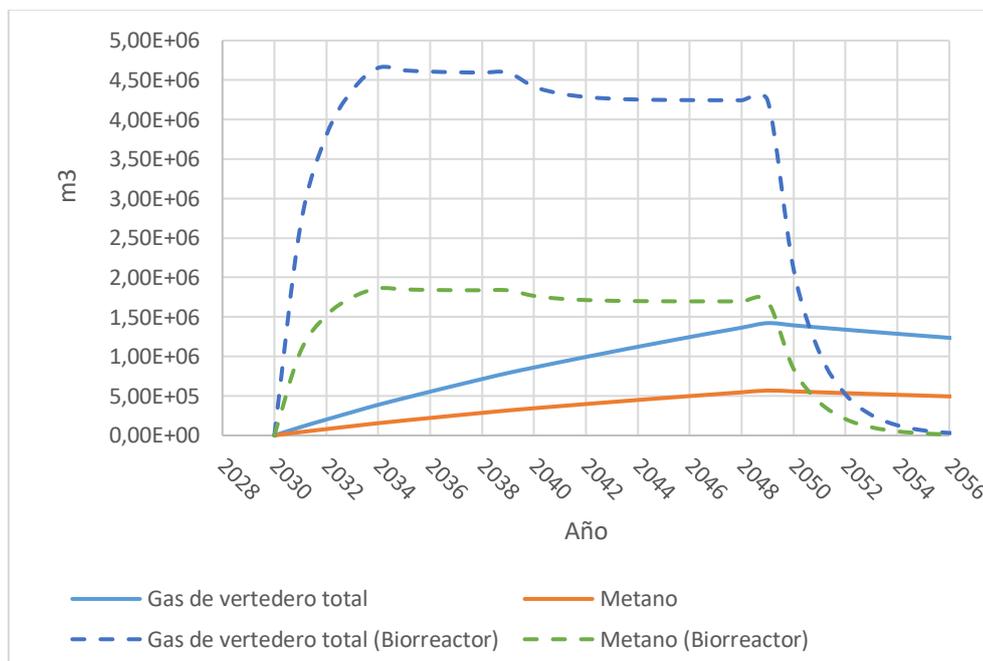


Figura A1.7. Producción de biogás en mega gramos. Representación de los residuos hasta cota cero.



En definitiva, se pueden extraer dos conclusiones muy importantes, una de ellas es que se reduce la vida del vertedero 100 años ya que en la primera simulación seguía produciéndose biogás hasta 150 aproximadamente después de sellar el vertedero, en el momento que se instala el biorreactor la únicamente se produce biogás durante 24 años a partir del sellado del vertedero, y de aquí obtenemos la segunda conclusión, sabiendo que después del sellado del vertedero se debe seguir un mantenimiento durante al menos 30 años después del sellado, sabiendo que, sin el biorreactor, después de ese tiempo aun seguirá produciéndose biogás, con el biorreactor, se consigue que antes de terminar los 30 años de mantenimiento deje de producirse biogás.

ANEXO N° 2. HUMEDAD REQUERIDA EN LA PRODUCCION DE BIOGAS

1. INTRODUCCIÓN

En el siguiente anexo se hablará del grado de humedad necesario para la producción máxima de biogás. La finalidad es conseguir una mejor comprensión del estudio realizado, sobre todo a la hora de escoger los valores de los parámetros de entrada.

Como se ha comentado en anteriores apartados, la producción de biogás viene dada por más de un factor, estos factores son la temperatura, la composición y cantidad de residuos, el pH y la humedad.

Tener un control sobre los factores de temperatura y pH es complicado, ya que a medida que se introducen los residuos se va haciendo complicado el acceso al interior del vertedero. Así que conociendo el tipo de reacciones que ocurren se considera que tanto el pH como la temperatura, se mantienen constantes mientras el bioreactor está en funcionamiento.

Por este motivo el trabajo se centra en el control de los factores restantes, por el hecho de que se puede controlar la cantidad de residuo que se introduce en el vertedero, la composición del mismo y conocer con qué grado de humedad llegan los residuos.

En definitiva, los apartados que vienen a continuación estarán centrados en conocer cuál es el grado de humedad con el que se trabajara una vez se instale el bioreactor y cuál será el caudal que proporcione dicho grado de humedad.

2. HUMEDAD DE LOS RESIDUOS DEPOSITADOS EN EL VERTEDERO

Los residuos que llegan al depósito de rechazos de Cervera del Maestre, lo hacen en unas condiciones determinadas que se consiguen haciendo pasar estos residuos por un tratamiento biológico denominado biosecado, el cual forma parte de proceso mecánico-biológico-mecánico BIOCUBI descrito en el apartado 7 “*Descripción de la planta BIOCUBI*” de la memoria.

El biosecado es un tratamiento cuyo objetivo es eliminar la fracción orgánica de degradación rápida de los residuos, ya que su riqueza en agua, carbono y sustancias nitrogenadas hacen que sea altamente putrescible e inestable. Esta fracción provoca malos olores y puede llevar consigo la aparición de enfermedades, por lo que con este proceso se consiguen unas condiciones de trabajo salubres, además de detener la actividad de los microorganismos. El proceso se puede realizar por vía aeróbica o anaeróbica, en este caso se realiza por la vía aeróbica de manera que las reacciones que se producen desprenden calor, el cual es utilizado en el proceso.

Toda la materia de degradación rápida es oxidada aeróbicamente, el calor producido es utilizado para secar e higienizar el residuo, consiguiendo así unas condiciones más eficientes y salubres. Con el secado del material por medio de las elevadas temperaturas que se dan, se consigue un sistema de estabilización, desodorización e higienización de este. Una vez terminado el proceso, el material ha reducido en un 30% su peso y la humedad es menor del 20%.

En el siguiente apartado se mostraran diferentes tablas que muestran la eficacia del tratamiento.

3. EFICACIA DEL BIOSECADO

Como se ha comentado en el apartado anterior el proceso al que se someten los residuos disminuye en gran medida la humedad de los residuos, dando unas determinadas condiciones a los residuos. A continuación se muestran las tablas A2.1 y A2.2 con las caracterizaciones de humedad antes y después de que los residuos sean sometidos al tratamiento:

Tabla A2.1. Humedad de entrada de los residuos.

	MAYO %	JULIO %	NOVIEMBRE %	PROMEDIO %
2013	24,2	41,8	86,5	50,83
2014	36,6	45,2	16,84	32,88
2015	54,5	30	21	35,17
PROMEDIO TOTAL				39,62%

Tabla A2.2. Humedad de salida de los residuos.

	MAYO %	JULIO %	NOVIEMBRE %	PROMEDIO %
2013	6,8	13,9	12,6	11,1
2014	25,4	34,84	11,12	23,79
2015	11,1	10	12,3	11,1
PROMEDIO TOTAL				15,33%

Se puede decir que el tratamiento al que se someten los residuos es efectivo, ya que se consigue reducir el grado de humedad en gran medida, pasando de casi un 40% de humedad a un 15,33%.

4. PRODUCCIÓN DE BIOGAS

Conociendo el grado de humedad con el que llegan los residuos al vertedero se deduce que no es extraño un periodo de producción de biogás tan largo cuando no añadimos agua y a los residuos solo les llega el agua de las precipitaciones que se producen en la zona.

De manera que si queremos aumentar la producción de biogás en el vertedero tendremos que activar los microorganismos de nuevo mediante la adición de lixiviados, y, si fuera necesario, agua. Para conocer dicha cantidad de lixiviados y agua, se determinará el grado de humedad óptimo con el que los residuos nos van a producir la máxima cantidad de biogás.

La humedad es uno de los factores más importantes que hay que controlar, ya que una humedad muy baja puede parar las reacciones que se producen por los microorganismos. El grado de humedad con el que los residuos pueden producir biogás está comprendido en un rango de 40 – 60 % (Pacey y DeGier, 1986; Rao y Suflita, 1993; Brown y Maunder, 1994). Por lo tanto un contenido en humedad superior al rango nombrado anteriormente, dará una producción de biogás mayor, ya que conlleva el aumento de la velocidad de degradación de los RSU (Marticorena et al., 1993; Pohland y Al-Yousfi, 1995).

A partir del anterior dato, se debe tener en cuenta algunas de las propiedades de los RSU que tienen una gran importancia a la hora de la producción de biogás y el aumento del grado de humedad mediante la adición de lixiviados.

5. PROPIEDADES DE LOS RESIDUOS

Las propiedades de los RSU están divididas en dos partes, una parte en la que sitúan las propiedades físicas y otra en la que están las propiedades químicas. Todas las propiedades afectan en mayor o menor medida a la creación de biogás, pero concretamente dos propiedades físicas son las que afectan directamente a la producción de biogás, estas son la capacidad de campo y el grado de humedad de los RSU.

5.1. Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los RSU contienen los dos factores más importantes que aportaran la información necesaria para obtener la máxima producción de biogás posible. Las propiedades físicas de los RSU son las siguientes:

- Capacidad de campo.

La capacidad de campo de los residuos sólidos es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. La capacidad de campo varía principalmente en función del grado de compresión de los residuos y el grado de descomposición (Wu et al., 2012)

La capacidad de campo es la propiedad que determinará el grado de humedad máximo que pueden contener los residuos, de manera que una capacidad de campo elevada nos proporcionará un alto contenido en humedad, que a su vez se traducirá en una mayor producción de biogás.

Sin embargo, se debe tener precaución si se trabaja a humedades elevadas, porque un exceso de esta puede llevar a que el vertedero se vuelva inestable y peligroso, además de que en el momento que se llegue a la capacidad de campo los RSU no aceptarán más líquidos, convirtiéndose este exceso en lixiviados.

- Permeabilidad de los RSU.

La permeabilidad es la propiedad que determina la capacidad de los residuos para permitir el flujo de líquidos a través de los poros (Senent, 2012).

- Grado de humedad.

El grado de humedad es la cantidad de agua que los residuos pueden retener. Además de todo lo visto en los apartados anteriores, donde se define como la variable más importante que controla la producción de biogás.

- Peso específico.
- Granulometría.

5.2. Capacidad de campo

Como se ha comentado en el apartado anterior, la capacidad de campo nos determinará la máxima cantidad de humedad que pueden retener los residuos. Para determinar cuál es la capacidad de campo del vertedero de Cervera del maestro, se ha realizado una búsqueda de diferentes capacidades de campo, las cuales están relacionadas con la densidad de los residuos del vertedero. La tabla A2.3 ofrece diferentes datos:

Tabla A2.3. Capacidad de campo determinada por diferentes experimentos.

Autores	Densidad	Capacidad de campo
	(kg/m ³)	(kg _{agua} /kg _{seco})
Datos de salida	389	1,02
Aguilar (2008)	269	1,213
	404	0,964
	472	0,799
	600	0,798
	700	0,791
	800	0,842
Dollár (2005)	304	0,722
	348	0,648
	948	0,400
	1030	0,460
Orta de Velásquez et al. (2003)	200	0,840
	350	1,170
	500	0,760
	750	0,550

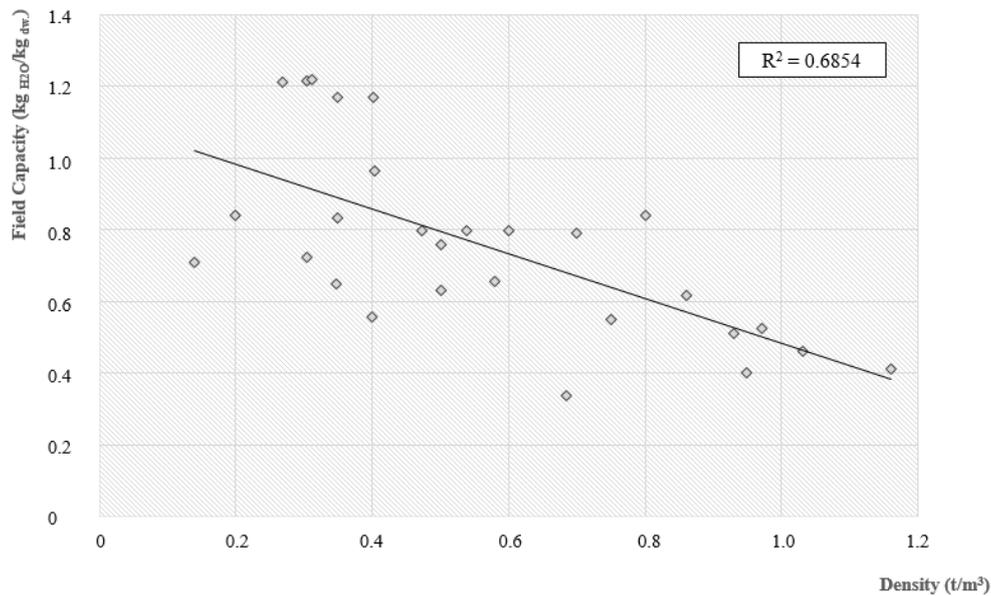
Uguccioni and Zeiss (1997)	400	0,556
Sánchez and López (1991)	538	0,799
	580	0,655
	684	0,336
Zeiss and Uguccioni (1994)	140	0,710
Schroeder et al. (1994)	350	0,834
Sánchez Gómez (2000)	500	0,630
Zornberg et al. (1999)	860	0,616
	930	0,510
	970	0,526
	1160	0,412

Con la tabla A1.3. y el estudio realizado por la Universidad Jaume I, en el que participan Joan Esteban Altabella, Francisco José Colomer y Antonio Gallardo, en el cual se determina la capacidad de campo que tienen los residuos del vertedero de Cervera del Maestre.

El estudio se ha realizado a partir de muestras de los residuos de Cervera del Maestre, se ha utilizado una densidad de 400 kg/m³ por lo que se ha obtenido una capacidad de campo de 1,02 kg agua/kg sólido seco, pero este dato no será representativo de todo el vertedero ya que en su interior la densidad será diferente a diferentes alturas por el grado de compactación que tendrán los residuos.

En el estudio se ha determinado que la capacidad de campo está relacionada con la densidad de los residuos, por eso se ha realizado un estudio con diferentes densidades que han proporcionado diferentes capacidades de campo, de manera que se puede observar que existe una relación entre las dos variables. A continuación se puede ver la figura A2.1:

Figura A2.1. Relación entre la capacidad de campo y la densidad.



Observando la gráfica se deduce que cuando mayor es la densidad de los residuos, la capacidad de campo es menor y viceversa. Al hablar de los residuos que están en el vertedero de Cervera del Maestre, se llega a la conclusión que en las capas superficiales la densidad será baja y en el fondo del vertedero la densidad será alta, por lo que la capacidad de campo será alta y baja respectivamente. En definitiva, el grado de humedad más elevado al que pueden llegar los residuos también variará a diferentes niveles de altura de los residuos. Esta recta se define mediante la siguiente ecuación:

$$y = -0,699 * x + 1,145 \quad (16)$$

6. CALCULO DE LA CANTIDAD DE LIXIVIADO/AGUA NECESARIA

A partir de la información de los apartados anteriores se calculará el máximo grado de humedad que los RSU pueden obtener. La obtención del grado de humedad se calculará a partir del cálculo de la cantidad de agua necesaria para que los residuos consigan llegar a la máxima capacidad de campo, esta varía con la densidad que será diferente a diferentes alturas del vertedero.

El hecho de que se calcule la cantidad de agua tiene un sencillo motivo, calcular el grado de humedad óptimo para los RSU es complicado, ya que no hay suficiente información. En el presente caso, la humedad está relacionada con la capacidad de campo y la densidad, por lo que se calculará la cantidad de agua necesaria para conseguir la capacidad de campo a diferentes densidades.

En esta parte el cálculo no es un cálculo real, ya que los datos utilizados son suposiciones que se determinan a través de datos encontrado en artículos, de manera que estas suposiciones se acerquen en la medida de lo posible a la realidad de lo que sería el vertedero de Cervera del Maestre. En el presente apartado se muestran los cálculos realizados y las explicaciones de los mismos.

6.1. Calculo de la capacidad de campo máxima

Este cálculo se realiza a partir de la ecuación (2) que relaciona la densidad con la capacidad de campo, el valor obtenido es la capacidad de campo máxima de los RSU a una densidad concreta. Cada celda será dividida en tres partes, esto se realiza de manera que se pueda repartir todo el lixiviado y agua de la manera más homogénea posible, de esta manera se han calculado tres densidades diferentes para cada una de las zonas y así obtener las diferentes capacidades de campo de cada una de ellas. A continuación se define la ecuación y se muestra la tabla de resultados:

$$CC_{m\acute{a}x} = -0.699 * \rho_{RSU} + 1.145 \quad (2)$$

Tabla A2.4. Capacidad de campo a diferentes densidades.

Niveles	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
ρ_{RSU} (t/m ³)	0,71	0,57	0,45
$CC_{m\acute{a}x}$ (kg agua/kg m.s.)	0,649	0,747	0,830

6.2. Cálculo de la cantidad de lixiviados/agua necesaria para los RSU

Los datos obtenidos en el apartado anterior que indican la capacidad de campo máxima, para cada una de las zonas del vertedero, junto con el contenido en agua que tienen actualmente proporcionan los kg de agua por kg de masa seca que debemos introducir en el vertedero para conseguir la producción óptima de biogás.

Los RSU del vertedero de Cervera del Maestre contienen un 15,33% de humedad, esto significa que contienen 15,33 kg de agua por cada 100 kg de masa húmeda, es equivalente a 15,33 kg de agua por cada 84,67 kg de masa seca.

Dividiendo los 15,33 kg de agua por los 84,67 kg de masa seca obtenemos los kg de agua por kg de masa seca que contiene actualmente el vertedero.

$$\text{Humedad actual: } \frac{15,33 \text{ Kg agua}}{100 \text{ Kg m.h.}} = 0,1533 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg m.h.}}$$

Cantidad de agua que contienen los RSU:

$$\frac{15,33 \text{ Kg agua}}{84,67 \text{ Kg m. s.}} = 0,176 \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg m. s.}}$$

A continuación, con el dato anterior y las capacidades de campo máximas se calcula la cantidad de agua que se debe añadir a cada una de las zonas para obtener la producción de biogás máxima (ecuación (3) y tabla A2.5.):

$$\text{Cantidad de lixiviados/agua a añadir} = CC_{m\acute{a}x} - \frac{\text{Kg agua}}{\text{Kg m.s.}} \text{ de los RSU} \quad (3)$$

Tabla A2.5. Capacidad de campo que necesitan los RSU en cada nivel.

	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1
ρ_{RSU} (t/m ³)	0,71	0,57	0,45
<i>Cantidad de lixiviados/agua a añadir</i> (kg agua/kg m.s.)	0,473	0,571	0,654

A partir de los valores obtenidos y las siguientes ecuaciones se pueden calcular los litros de lixiviados/agua que son necesarios para conseguir llegar a la capacidad de campo máxima.

$$V_{RSU} = d * L * h \quad (4)$$

$$Peso_{RSU} = V_{RSU} * \rho_{RSU} \quad (5)$$

$$Peso_{lixiviados/agua} = Peso_{RSU} * Cantidad\ de\ lixiviados/agua\ a\ añadir \quad (6)$$

Para comenzar el cálculo se debe conocer el volumen de RSU por cada una de las zonas a las que se les añadirá lixiviado/agua. El valor del volumen del depósito se obtiene a partir de los planos aportados por la empresa BIONORD, en estos aparecen las diferentes superficies de los depósitos y, junto con la herramienta AutoCAD, se puede calcular el volumen de las zonas de los niveles (tabla A2.6 y A2.7.).

Tabla A2.6. Volumen de los niveles de la celda 1.

Volumen RSU		
CELDA 1	Nivel 1	14815,824
	Nivel 2	48989,898
	Nivel 3	81199,337

Tabla A2.7. Volumen de los niveles de la celda 2 y 3.

Volumen RSU		
CELDA 2 y 3	Nivel 1	15567,349
	Nivel 2	45466,507
	Nivel 3	78712,473

A partir del volumen es posible calcular la cantidad de lixiviados/agua a añadir para llegar a la capacidad de campo máxima de los RSU. Las tablas A2.8. y A2.9. con los resultados obtenidos se pueden ver a continuación:

Tabla A2.8. Volumen de lixiviados/agua necesarios para llegar a la capacidad de campo en la celda 1.

		Peso RSU (t)	Volumen lixiviados/agua (m ³)
CELDA 1	Nivel 1	10519,235	4.972,548
	Nivel 2	27924,242	15.932,735
	Nivel 3	36539,702	23.913,408
TOTAL		74983,178	44.818,690

Tabla A2.9. Volumen de lixiviados/agua necesarios para llegar a la capacidad de campo en la celda 2 y 3.

		Peso RSU (t)	Volumen lixiviados/agua (m ³)
CELDA 2 y 3	Nivel 1	11052,818	5.224,778
	Nivel 2	25915,909	14.786,840
	Nivel 3	35420,613	23.181,020
TOTAL		72389,340	43.192,638

ANEXO N° 3. DIMENSIONAMIENTO DE EQUIPOS Y TUBERIAS

1. INTRODUCCIÓN

En el presente anexo se calcularán las dimensiones de las tuberías y los datos necesarios para la elección de las bombas que recircularán los lixiviados y agua al vertedero.

Se determinará los diámetros de las tuberías, tanto la principal como las ramificaciones, y además a partir de los datos obtenidos se podrá elegir el tipo de bomba que será necesaria para abastecer el vertedero.

2. DIMENSIONADO DE LAS TUBERIAS

En este apartado primero será necesario obtener el caudal de agua que circulará en cada momento por las conducciones que introducirán el lixiviado/agua en el vertedero. De esta manera será posible calcular de manera aproximada los diámetros de las tuberías de los distintos niveles y la cantidad de ellas.

Para empezar, en el anexo n° 2 “*Humedad requerida en la producción de biogás*” están los volúmenes de lixiviados/agua a añadir en el vertedero para llegar a la capacidad de campo de los RSU, para obtener un caudal a partir de estos se establece un periodo de 90 días para introducir el volumen total en el vertedero. La elección del periodo de introducción de lixiviado/agua está determinada por dos factores importantes: obtener un caudal y unos diámetros de tuberías razonables.

De esta manera, se ha obtenido un caudal para la conducción principal, de cada una de las celdas, que recogerá los lixiviados/agua de la balsa de almacenamiento. Además de este caudal también se han obtenido los caudales de las 3 ramificaciones de cada uno de los 3 niveles del vertedero (tabla A3.1. y tabla A3.2.).

Tabla A3.1. Caudal necesario en cada nivel de la celda 1.

CELDA 1			
	Volumen de agua (m ³)	Periodo de adición (h)	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	4.972,55	2.160	2,30
Nivel 2	15.932,73	2.160	7,38
Nivel 3	23.913,41	2.160	11,07
	44.818,69	2.160	20,75

Tabla A3.2. Cálculo de los caudales de los 3 niveles de las celdas 2 y 3.

CELDA 2 Y 3			
	Volumen de agua (m ³)	Periodo de adición (h)	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	5.224,78	2.160	2,42
Nivel 2	14.786,84	2.160	6,85
Nivel 3	23.181,02	2.160	10,73
	43.192,64	2.160	20,00

A partir de los caudales se obtendrá el diametro de las conducciones principales que se introducen al vertedero. La obtención de los diámetros se hará a partir de la ecuación del caudal. La ecuación (9) se define de la siguiente manera:

$$Q = v \times A \quad (9)$$

Q: Caudal de lixiviado/agua (m³/h).

v: Velocidad del fluido (m/s).

A: Superficie de la conducción (πr^2)

Al no tener los suficientes datos, a la velocidad del fluido se le proporcionará un valor supuesto, de esta manera se podrá calcular el diámetro de la conducción. Reordenando la ecuación y sustituyendo la A se obtiene la ecuación (10) que nos proporcionará el diámetro.

$$r = \sqrt{\frac{Q}{v \cdot \pi}} \quad (10)$$

r: Radio de la conducción (m)

A partir de los caudales se ha calculado el diámetro de las conducciones principales que se introducen al vertedero (tabla A3.3. y tabla A3.4.).

Tabla A3.3. Diámetros de las tuberías que van al vertedero de la celda 1.

CELDA 1			
Diámetro Tub. Principal (mm)	Diámetro Nivel Inferior (1) (mm)	Diámetro Nivel Intermedio (2) (mm)	Diámetro Nivel Superior (3) (mm)
69,95	23,30	41,70	51,09

Tabla A3.4. Cálculo de los diámetros de las tuberías de los 3 niveles de las celdas 2 y 3.

CELDA 2 Y 3			
Diámetro Tub. Principal (mm)	Diámetro Nivel Inferior (1) (mm)	Diámetro Nivel Intermedio (2) (mm)	Diámetro Nivel Superior (3) (mm)
68,67	23,88	40,18	50,30

Estos diámetros representan la conducción principal de recogida de lixiviados hacia el vertedero (Tubería principal) y las 3 tuberías en las que se divide el caudal para cada uno de los 3 niveles (nivel inferior, nivel intermedio y nivel superior).

De la misma manera se ha calculado el caudal, el diámetro y la cantidad de tuberías que se instalarán en la superficie de los niveles del vertedero. Para ello se ha decidido que sólo se realizará el cálculo de las conducciones del nivel superior, ya que se utilizarán las mismas dimensiones para los niveles inferiores (tabla A3.5. y tabla A3.6.).

Tabla A3.5. Diámetros de las tuberías para la superficie de la celda 1.

Niveles	Nº de tuberías	Caudal (m ³ /h)	Diámetro (mm)
Nivel 3	72,00	0,15	5,95

Tabla A3.6. Diámetros de las tuberías para la superficie de la celda 2 y 3.

Niveles	Nº de tuberías	Caudal (m ³ /h)	Diámetro (mm)
Nivel 3	72,00	0,15	5,95

A continuación se debe establecer una red de tuberías, con las perforaciones para los goteros, en la superficie de cada uno de los niveles para que los RSU se humedezcan de manera homogénea. A partir del caudal máximo de los goteros se ha decidido la disposición de las tuberías y los goteros.

El caudal máximo de los goteros es de 0,004 m³/h. Se ha establecido una distancia entre tuberías igual a la distancia entre goteros, esta distancia es de 3 metros .El cálculo de la distancia entre goteros se ha realizado a partir de la superficie de cada uno de los niveles. Cada gotero afecta a un área circular por lo que primero se calcula la superficie que abarca cada gotero mediante la ecuación (11).

$$A = \pi * r^2 \quad (11)$$

A: Superficie (m²).

r: Radio de acción de los goteros (m).

A continuación se han calculado la superficie que se ve afectada por cada gotero y el número de goteros que se tendrán que introducir en cada nivel (tabla A3.7. y tabla A3.8.).

Tabla A3.7. Caudal y número de goteros de la celda 1.

CELDA 1					
Niveles	Distancia (m)	Radio (m)	Superficie por gotero (m ²)	Nº Goteros	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	3	1,5	7,069	3500,762	0,0032
Nivel 2	3	1,5	7,069	2340,002	0,0032
Nivel 3	3	1,5	7,069	1262,694	0,0018

Tabla A3.8. Caudal y número de goteros de la celda 2 y 3.

CELDA 2 Y 3					
Niveles	Distancia (m)	Radio (m)	Superficie por gotero (m ²)	Nº Goteros	Caudal (m ³ /h)
Nivel 1	3	1,5	7,069	3428,213	0,0031
Nivel 2	3	1,5	7,069	2243,764	0,0031
Nivel 3	3	1,5	7,069	1129,965	0,0021

Para evitar que los goteros se obturen por estar en contacto directo con los residuos, se envolverán las tuberías y goteros con geotextil.

Cada una de las tuberías tendrá un diámetro y un espesor acorde al caudal que tienen y la presión nominal a la que están sometidas, además deben tener unas características necesarias, ya que estarán en un medio agresivo.

La presión nominal de las tuberías se obtendrá a partir de los metros de columna de agua que hay desde la superficie hasta el punto en el que se encuentran las tuberías. La presión nominal para las tuberías se puede ver en la tabla A3.9:

Tabla A3.9. Presión nominal de las tuberías.

Metros columna de agua	Bares
1	0,098
10	0,98
20	1,961

Con estos resultados y atendiendo al medio al que están sometidas, se deben escoger las tuberías que mejor se adapten a estos resultados y exigencias. El tipo de tubería que se ha elegido es la de PEAD ya que poseen unas características realmente favorables para ser capaces de soportar el ataque químico que sufrirán dentro del vertedero. En el anexo nº 5 “*Catálogos*” se puede ver el catálogo con las características de las tuberías escogidas.

3. ELECCIÓN DE LA BOMBA DE RECIRCULACIÓN.

Para la elección de la bomba se utilizarán los datos obtenidos en el apartado anterior junto a la localización de la misma en el vertedero. La bomba se elegirá de manera que pueda absorber el caudal suficiente para impulsar el caudal que requiere la tubería principal, además se deberá tener en cuenta la diferencia de nivel entre el punto en el que se encuentre la bomba y el punto en el que se recogerá en lixiviado/agua.

También añadiremos el cálculo de la potencia de la bomba para asegurarnos de que la elección de esta sea la correcta. El cálculo se realizará a partir de la siguiente ecuación:

$$P_b = \rho_{H_2O} \cdot g \cdot Q \cdot h_m \quad (12)$$

P_b : Potencia de la bomba (W)

ρ_{Agua} : Densidad del agua (kg/m^3)

g : Gravedad (m/s^2)

Q : Caudal de agua (m^3/s)

h_m : Altura (m)

La potencia que debe tener la bomba se muestra en las tablas A3.10 y A3.11 junto a los datos utilizados para su cálculo:

Tabla A3.10. Cálculos de la potencia de la bomba para la celda 1.

CELDA 1				
Densidad (Kg/m^3)	Gravedad (m/s^2)	Caudal (m^3/s)	Altura manométrica (m)	Potencia (W)
1000	9,81	0,0113	5	554,265

Tabla A3.11. Cálculos de la potencia de la bomba para la celda 2 y 3.

CELDA 2 y 3				
Densidad (Kg/m^3)	Gravedad (m/s^2)	Caudal (m^3/s)	Altura manométrica (m)	Potencia (W)
1000	9,81	0,0109	5	534,645

Una vez calculada la potencia es posible escoger la bomba que será necesaria para la recirculación de los lixiviados. La elección se realiza a partir de los datos que se han ido calculando en el presente anexo. Estos datos se pueden ver en la tabla A3.12 y A3.13:

Tabla A3.12. Datos para la elección de la bomba de la celda 1.

CELDA 1	
Caudal (m ³ /h)	40,785
Altura (m)	5
Diámetro de impulsión (mm)	98,064
Potencia (W)	554,265

Tabla A3.13. Datos para la elección de la bomba de la celda 2 y 3.

CELDA 2 y 3	
Caudal (m ³ /h)	39,266
Altura (m)	5
Diámetro de impulsión (mm)	96,220
Potencia (W)	534,645

Para la recirculación de los lixiviados/agua se ha escogido un bomba sumergible (figura 3.1.) que cumple los requisitos que se han mostrado en la tabla A3.14.

Tabla A3.14. Características de la bomba de recirculación para todas las celdas.

Bomba sumergible con rodete monocanal GMC4 80-100C	
Potencia (kw)	80
DN (mm)	100
Protección térmica	Standard
Profundidad de inmersión (m)	15

Además, este tipo de bomba se adapta perfectamente al medio al que estarán sometidas. Todas las características se pueden ver en el catálogo que estará en el anexo nº 5 “Catálogos”.

Figura A3.1. Bomba sumergible con rodete monocanal GMC4 80-100C



4. VÁLVULAS REGULADORAS Y EQUIPOS DE CONTROL.

La alimentación del vertedero no se puede realizar de manera descontrolada. Esto podría producir encharcamientos dentro de las celdas del vertedero, lo que volvería el depósito de los rechazos inestable.

4.1. Electroválvulas.

Para el control del caudal introducido en cada uno de los niveles del vertedero se instalarán electroválvulas reguladoras (figura A3.2). Esto se debe a que cada celda requiere un caudal, y este viene de la conducción principal que recoge los lixiviados/agua de la balsa. De esta manera se obtendrá un control lo suficientemente preciso en la introducción del lixiviado/agua.

Las electroválvulas se han escogido por las características, el diámetro nominal y el caudal de paso al que pueden llegar (tabla A3.15). Son electroválvulas 2/2 de mando

asistido y cuerpo de latón. Todas las características están en el catálogo del anexo nº 5 “Catálogos”.

Tabla A4.1. Características principales de las electroválvulas.

Electroválvula 2/2 de mando asistido y cuerpo de latón	
Potencia (W)	15,3
DN (mm)	44
Temperatura del fluido (°C)	-20 a 85
Caudal máximo de paso (m ³ /h)	37

Figura A4.2. Electroválvula 2/2 de mando asistido y cuerpo de latón.



4.2. Equipos para el control de nivel.

Además de las válvulas, también se instalará un equipo de control de nivel en la parte inferior del vertedero (figura A3.3). La zona de recolección de lixiviados tiene una altura de 1 metro desde el fondo hasta la donde empiezan los residuos (tabla A3.16). La introducción de un controlador de nivel máximo y un controlador de nivel mínimo se decide por dos motivos importantes:

- El **control de nivel máximo** sirve para evitar un encharcamiento del nivel inferior de las celdas del vertedero. Se situará a 10 cm por debajo del nivel de los residuos. Cuando el controlador avise de que se ha llegado al nivel máximo, se cerrarán las válvulas de los niveles inferior e intermedio, dejándose abierta la del nivel superior para no cesar en la introducción de lixiviados/agua.

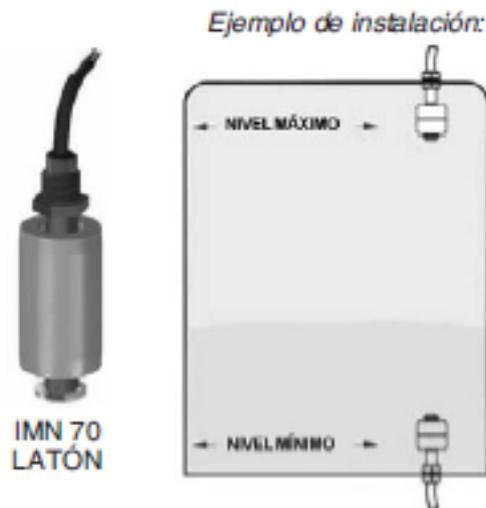
- El **control de nivel mínimo** sirve para que el fondo del vaso no se quede sin lixiviados y produzca que la bomba que los extrae se rompa. Se situará 10 cm por encima del fondo del vertedero. Cuando este controlador avise de que se ha llegado al nivel mínimo, se volverán abrir las válvulas de los niveles intermedio e inferior para mantener los residuos a la capacidad de campo.

Las características de los controladores de nivel se pueden ver en el catálogo que se encuentra en el anexo nº 5 “Catálogos”.

Tabla A3.16. Características principales de los elemento de control de nivel.

Interruptor magnético de nivel con boya IMN Latón CN01200	
Diámetro boya (mm)	36
Temperatura de trabajo (°C)	-30 a 60

Figura A3.3. Interruptor magnético de nivel con boya IMN Latón CN01200



ANEXO N° 4. APROVECHAMIENTO Y PURIFICACIÓN DEL BIOGÁS

1. SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE BIOGÁS.

El biogás puede ser aprovechado de diferentes maneras pero hay tres factores que deciden si el biogás puede, o no, ser aprovechado y de qué manera. Los tres factores son, el económico, el medioambiental y el tecnológico.

El principal de los tres factores es el económico, ya que éste será el que terminará decidiendo la viabilidad del aprovechamiento del biogás. El factor en cuestión considera tanto el biogás que se produce y la cantidad de beneficios que se consiguen, y el coste que supone realizar la instalación de aprovechamiento de biogás.

Por otro lado, el factor medioambiental y el factor tecnológico provocan ciertas restricciones. La parte medioambiental está relacionada con la parte económica, ya que el biogás contiene metano y las migraciones que pueda haber en los vertederos son altamente contaminantes. El metano es 21 veces más contaminante que el CO₂.

El último factor es el tecnológico. Los vertederos producen una cantidad de biogás que está directamente relacionada con el volumen de los RSU depositados, su composición y tipo de ambiente en el que se encuentre. Por lo que cada vertedero producirá diferentes cantidades de biogás y de diferentes composiciones, de manera que condiciona el dimensionamiento de los equipos de control y extracción de biogás, y los equipos que son necesarios para depurar el biogás.

El aprovechamiento del biogás puede realizarse de diferentes maneras:

- **Combustión directa.** El biogás se quema mediante antorchas (figura A4.1), de esta manera el calor producido por la combustión es aprovechado en los sistemas que requieren un aporte de calor o, por ejemplo, en la evaporación de los lixiviados.

Figura A4.1. Antorcha para quemar biogás.



- **Motores de combustión interna (Cogeneración).** Son los sistemas más comunes para producir electricidad a partir del biogás, pero primero el biogás debe pasar por diferentes tratamientos de depuración para eliminar los gases que son perjudiciales para estos motores (figura A4.2).

Figura A4.2. Motor de co-generación de energía.



- **Combustible para vehículos.** A partir del biogás se puede obtener gas natural comprimido o licuado, de manera que puede ser utilizado en vehículos adaptados

a este tipo de combustible. Este combustible se puede obtener a partir de diferentes tecnologías:

- Separación por membranas
 - Criba molecular
 - Tratamiento con aminas
- **Turbinas de gas o vapor.** Aprovechan la potencia eléctrica y con o in recuperación de calor.

En el presente vertedero se ha pensado en utilizar motores de camión adaptados para que puedan funcionar con biogás. Esta manera de aprovechar el biogás se está utilizando en Italia. El motivo por el que se decide utilizar estos motores está relacionado con la variación en la cantidad de biogás que se produce y la necesaria para hacer funcionar los motores.

En uno de los vertederos italianos se instalaron 8 motores de camión adaptados, de esta manera solo se encienden los motores necesarios para utilizar el biogás disponible en el interior del vertedero (figura A4.3). Más adelante se tuvieron que instalar 8 motores adicionales porque la cantidad de biogás que se producía con el biorreactor era demasiada para los motores que tenían. Además, al ser motores que funcionan de manera independiente, se pueden encender solo aquellos que se necesiten en cada momento.

Figura A4.3. Motores de camión adaptados para producir biogás.



2. PURIFICACIÓN DEL BIOGÁS.

Tal y como se ha visto en el apartado 6.2.1. “Composición y características del biogás” de la memoria, el biogás está compuesto por diferentes gases. Algunos de estos, aunque están en pequeñas cantidades, pueden ser perjudiciales y dañinos tanto para el medio ambiente como para los equipos de valorización del biogás.

Los gases que componen el biogás se pueden ver en la siguiente tabla:

Tabla A4.1. Composición del biogás (Tchobanoglous, 1994).

COMPOSICION BIOGAS	
Metano	45 – 60
Dióxido de carbono	40 – 60
Nitrógeno	2 – 5
Oxígeno	0,1 – 1
Ácido sulfhídrico	0 – 1
Amoníaco	0,1 – 1
Hidrógeno	0 – 0,2
Monóxido de carbono	0 – 0,2

Este biogás no puede ser enviado directamente a la producción energía, el motivo son parte de los gases que contiene el biogás, por lo que se debe evitar la entrada de impurezas que puedan afectar a los equipos de recuperación energética. Para esto se realizan una serie de tratamientos del biogás que eliminan la humedad y los condensados del biogás, así como la eliminación de los siloxanos y el ácido sulfhídrico. Una vez se han eliminado estos gases, el biogás depurado puede enviarse a los motores de combustión.

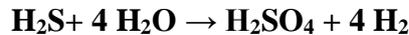
A continuación se plantean alguna de las soluciones para la eliminación de los gases nombrados anteriormente.

La solución del problema de los condensados se consiguen con un sistema de trampas de condensados por depresión ya que con el sistema de un depósito de captación sólo se evacuan los condensados de la tubería. Se tiene en cuenta que con este sistema no se elimina la humedad pero dada la experiencia de combustión italiana no se aplican sistemas como:

- Calentamiento de la tubería: Sólo funciona con temperaturas bajas.
- Secado activo con refrigerador y compresor del gas: Este reduce realmente la carga de agua.

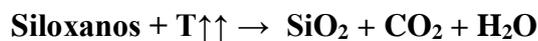
Una vez solucionados los problemas de condensados y humedad se elimina significativamente los problemas de corrosión en la fase de aprovechamiento.

En el biogás también se encuentra el ácido sulfhídrico, que al reaccionar con la humedad del aire (agua) que entra en la cámara de combustión forma ácido sulfúrico. Este último es altamente corrosivo y ataca al cobre de las piezas del motor y del lubricante, y forma óxidos de azufre en el gas de escape que son nocivos para el medio ambiente.



Para eliminar el ácido sulfúrico se suele utilizar cal viva, limaduras de hierro o carbón activo. En este caso se eliminará con carbón activo, pero si este no resultase eficaz se utilizaría un sistema de filtro de tubo de PVC de 6 pulgadas de diámetro y 2 metros de altura que se rellena en 2/3 partes con limadura de hierro y el tercio restante con esponjilla de hierro (Bonbril MR). El biogás ingresa por la parte inferior del filtro y lo abandona por su parte superior. El H₂S es atrapado por el material ferroso formándose sulfuro de hierro.

Los siloxanos son partículas que aparecen por el material de cobertura que se introduce en el vertedero a medida que este va siendo llenado. El material de cobertura es material inerte (arena, arcillas, etc.) que al disolverse por los lixiviados puede ser arrastrado por el biogás. Al calentarse, los siloxanos se volatilizan en el gas de vertedero y generan como reacción:



Es el compuesto de sílice el que se acumula en los motores obturándolos y reduciendo su rendimiento, de manera que el resultado final es la abrasión del motor. Estos compuestos pueden eliminarse de dos maneras, mediante gel de sílice o, al igual que el ácido sulfhídrico, mediante la adsorción por carbón activo.

Los fabricantes de motores estiman que la concentración de siloxanos en el biogás introducido en el motor no debe de superar los 10 mg/m³, y normalmente el biogás se

extrae del depósito con cantidades mayores o iguales a 50 mg/m^3 . Por ello, se tratará con carbón activo para aumentar la longevidad del motor.

ANEXO N° 5. CATÁLOGOS Y FICHAS TÉCNICAS

1. BOMBA SUMERGIBLE

328_39L_SPA2014 - OK_GMC_GMV 01_02 12/05/2014 9:22 Página 340

GMC Bombas sumergibles con rodetes monocanal

calpeda



Ejecución

Bombas sumergibles con rodetes monocanal.
Doble cierre mecánico en cámara de aceite (cierre de labio lado motor para potencias hasta 1,4 kW).
Brida de impulsión DN 80-100-150

Aplicaciones

Para aguas cargadas y sucias.
Particularmente indicadas para el vaciado de pozos negros o depósitos o aguas industriales.
Paso de sólidos desde 40 hasta 100 mm.

Límites de empleo

Temperatura del líquido hasta 40° C.
Profundidad de inmersión máxima: 30 m (con cable de adecuada longitud).
Servicio continuo (con el motor sumergido).

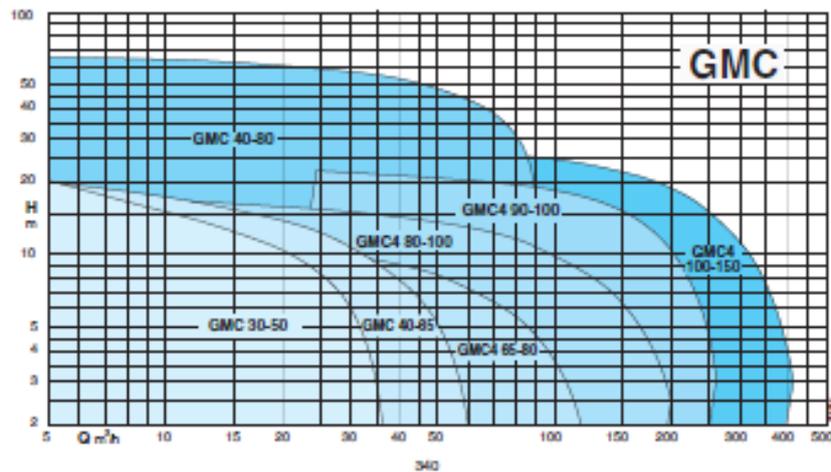
Motor

Motor de inducción a 2 o 4 polos, 50 Hz.
Versión monofásica 230 V a 10%, con interruptor de nivel.
Condensador incorporado.
Versión trifásica: 400V a 10%, hasta 3,2 kW.
400/690V a 10% superiores a 3,2 kW.
Aislamiento clase H.
Protección: IP 68.
Arranque por hora máxima: 15 en intervalos regulares.
Cable: H57RN-F, longitud 10 m.
Para otros modelos: consultar con nuestro departamento comercial.

Materiales principales

Cuerpo bomba: hierro EN-GJL-250
Rodete: hierro EN-GJL-250+N
Carcasa motor: hierro EN-GJL-250
Tapa motor: hierro EN-GJL-250
Eje: acero al cromo AISI 420B
Cierre de labio en nitrilo hasta 1,4 kW
Cierre mecánico lado motor: grafito/cerámica para potencias superiores a 1,4 kW
Cierre mecánico lado bomba: carburo de silicio / carburo de silicio

Campo de aplicaciones

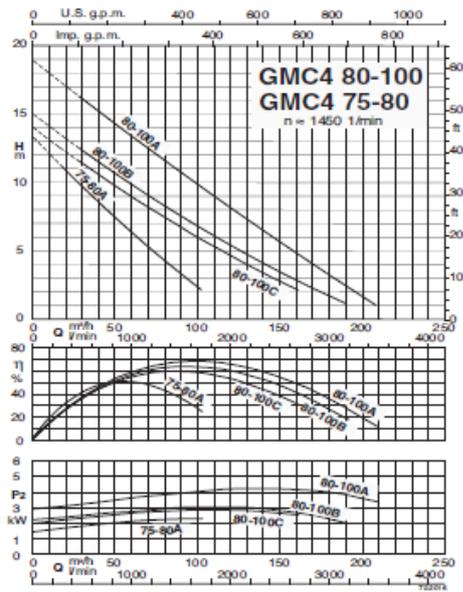
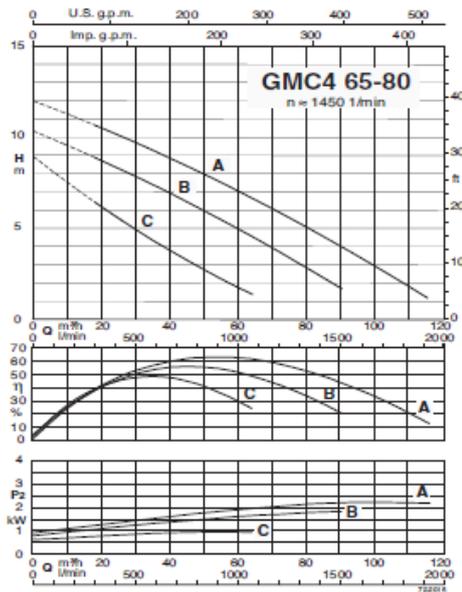


Datos técnicos

TIPO	P ₂ kW	I _N A	Alimentación	r.p.m.	Arranque	DN mm	Paso libre Ø mm	Prot. térmica	Sonda humedad	ATEX Eex
GCM 30-50B	1,1	7,5	1~230V	2850	D.O.L	50	30	●	NO	
GMC 30-50B	1,4	3	3~400V	2850	D.O.L	50	30	NO	NO	
GMC 30-50A	1,4	3	3~400V	2850	D.O.L	50	30	NO	NO	
GCM 40-65B	1,9	10	1~230V	2850	D.O.L	65	40	NO	NO	✓
GMC 40-65B	2,4	5	3~400V	2850	D.O.L	65	40	NO	NO	✓
GMC 40-65A	2,8	6	3~400V	2850	D.O.L	65	40	NO	NO	✓
GMC 40-80D	11	22	3~400,690V	2850	Y/Δ	80	40	●	●	✓
GMC 40-80C	14,9	27,3	3~400,690V	2850	Y/Δ	80	40	●	●	✓
GMC 40-80B	18,2	34	3~400,690V	2850	Y/Δ	80	40	●	●	✓
GMC 40-80A	18,2	34	3~400,690V	2850	Y/Δ	80	40	●	●	✓
GMC4M 65-80C	1,2	8,5	1~230V	1450	D.O.L	80	65	●	NO	✓
GMC4 65-80C	1,4	3,5	3~400V	1450	D.O.L	80	65	NO	NO	✓
GMC4 65-80B	2,3	5	3~400V	1450	D.O.L	80	65	NO	NO	✓
GMC4 65-80A	2,8	6,5	3~400V	1450	D.O.L	80	65	NO	NO	✓
GMC4 75-80A	2,8	6,5	3~400V	1450	D.O.L	80	75	NO	NO	✓
GMC4 80-100C	3,8	8	3~400,690V	1450	Y/Δ	100	80	●	●	✓
GMC4 80-100B	3,8	8	3~400,690V	1450	Y/Δ	100	80	●	●	✓
GMC4 80-100A	5	11	3~400,690V	1450	Y/Δ	100	80	●	●	✓
GMC4 90-100B	11,6	23,2	3~400,690V	1450	Y/Δ	100	90	●	●	✓
GMC4 90-100A	14,4	29,5	3~400,690V	1450	Y/Δ	100	90	●	●	✓
GMC4 100-150C/A	12,9	24,2	3~400,690V	1450	Y/Δ	150	100	●	●	✓
GMC4 100-150B/A	17,8	32,5	3~400,690V	1450	Y/Δ	150	100	●	●	✓
GMC4 100-150A/A	20,8	43,1	3~400,690V	1450	Y/Δ	150	100	●	●	✓

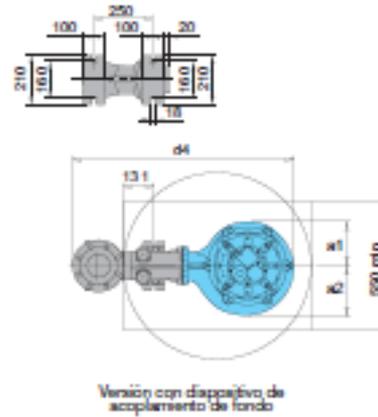
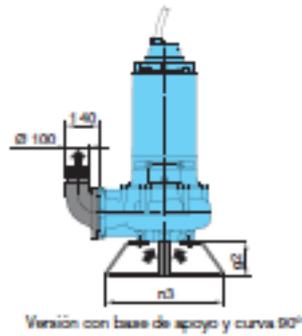
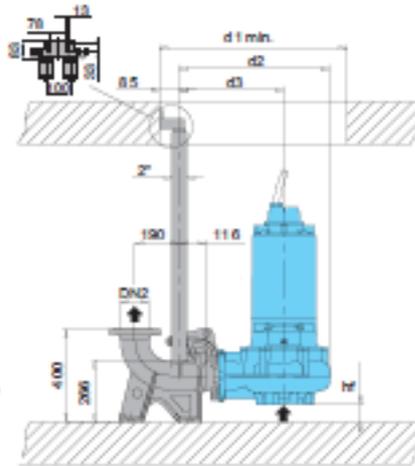
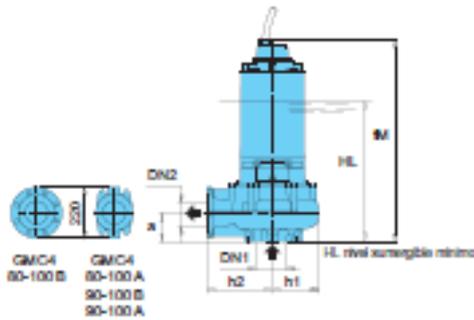
P₂ Potencia nominal I_N Intesidad nominal ● Standard ✓ATEX Eex Ejecuciones bajo demanda

Curvas características



Dimensiones y pesos

GMC4 80-100
GMC4 90-100



TIPO	DN 1090-2 PN 10		Dimensiones mm													Peso Weight kg	
	DN6	DN2	HM	HL	H'	a	H	Ø	d1	d2	d3	d4	H	h2	n3		p2
GMC4 80-100C	125	100	597	430	62	138	180	231	650	673	466	975	207	300	500	150	117
GMC4 80-100B	125	100	652	520	54	147	189	212	600	640	465	940	195	279	500	150	161
GMC4 90-100A	125	100	820	570	54	147	189	212	600	640	465	940	195	279	500	150	204

2. TUBERÍAS

	Unidade	PE 63/80	PE 100	Norma / Standard
Densidade Densidad Density	kg/m3	0,956	0,961	ISO 1183
Tensão de limite elástico Resistencia a la tension deformación Tensile strenght at yield	N/mm2	22	23	ISO 6259
Alongamento á ruptura Alargamiento a la ruptura Elongation at break	%	>600	>600	ISO 6259
Índice de fluidez Índice de fluidez Melt flow rate	8 / 10min	≤ 0,5	≤ 0,4	ISO 1133
Módulo de flexão Modulo de flexión Flexual modules	N / mm2	900	950	ISO 6259
Coefficiente de dilatação linear Coeficiente de dilatación lineal Linear thermal expansion	K ⁻¹	2 x 10 ⁻⁴	2 x 10 ⁻⁴	
Condutibilidade térmica Condutibilidad térmica Thermal condutivity	W / m K	0,41- 0,45	0,41 - 0,45	
Estabilidade térmica Estabilidad térmica Thermal stability	min	15	15	210 K O ₂

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS EN UN VERTEDERO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

RESISTÊNCIA QUÍMICA
Resistência Química
Chemical Resistance

CÓDIGO DE ANOTAÇÕES

Resistente	R
Resistência limitada	L
Não resistente	N
Decoloração	D

CÓDIGO DE ANOTACIONES

Resistente	R
Resistencia limitada	L
No resistente	N
Decoloración	D

ANNOTATION CODE

Resistance	R
Limited resistance	L
Non-resistant	N
Decoloration	D

PRODUTO	RESISTENCIAS		PRODUTO	RESISTENCIAS	
	20 °C	60 °C		20 °C	60 °C
Acetilaldeído Gasoso	R	L	Ácido Peracético 50%	R	R
Acetato de Amônio	R	R	Ácido Propiônico 100%	R	L
Acetato de Sódio	R	L	Ácido Sulfúrico	R	R
Acetato de Chumbo	R	R	Ácido Sulfúrico 10%	R	R
Acetona	R	R	Ácido Sulfúrico 50%	R	R
Ácido Acético a 10%	R	R	Ácido Sulfúrico 60%	R	R
Ácido Acético a 100%	R	L D	Ácido Sulfúrico 90%	L	N
Ácido Adípico	R	R	Ácido Sulfúrico	R	R
Ácido Benzóico	R	R	Ácido Tímico 10%	R	R
Ácido Benzo sulfônico	R	R	Ácido Tartárico	R	R
Ácido Bórico	R	R	Ácido Tricloroacético 50%	R	R
Ácido Bromídrico a 50%	R	R	Ácido Tricloroacético 100%	R	L N
Ácido Butírico	R	L	Ácido Áromático	R	R
Ácido Carbônico	R	R	Ácido Goxílico	R	L
Ácido Clorídrico	R	R	Acetonitrilo	R	R
Ácido Clórico	R	R	Água de mar	R	R
Ácido Clorídrico - qualquer concentração	R	R	Água Oxigenada 30%	R	R
Ácido Clorídrico gasoso, húmido e seco	R	R	Água Oxigenada 100%	R	R
Ácido Cloroacético (mono)	R	R	Água Régia	N	N
Ácido Cloro sulfônico	N	N	Alcool Alílico	R	R
Ácido Crômico 80%	R	N D	Alcool Benzílico	R	Parcial
Ácido Diformacético 50%	R	R	Alcool Etilico	R	R
Ácido Diformacético 100%	R	L D	Alcool Furfuralico	R	R D
Ácido Estarico	R	L	Amido	R	R
Ácido Fluorídrico 40%	R	L	Amoníaco caseiro 100%	R	R
Ácido Fluorídrico 70%	R	L	Amoníaco líquido 100%	R	R
Ácido Fluorídrico aquoso até 32%	R	R	Anilido Acético	R	L D
Ácido Fórmico	R	R	Anilina	R	R
Ácido Fosfórico 25%	R	R	Antesol	L	N
Ácido Fosfórico 50%	R	R	Enxofre	R	R
Ácido Fosfórico 95%	R	L D	Benzeno	L	L
Ácido Fáltico 50%	R	R	Benzato de Sódio	R	R
Ácido Glicólico 50%	R	R	Bauflito de Sódio dil.	R	R
Ácido Glicólico 70%	R	R	Bromo de Potássio, aquoso (1%)	R	R
Ácido Láctico	R	R	Bromo qualquer concentração	R	R
Ácido Maltico	R	R	Bromo de Potássio até 10%	R	R
Ácido Mílico	R	R	Bromo	N	N
Ácido Monocloroacético	R	R	Bromato de Potássio	R	R
Ácido Nítrico 25%	R	R	Bulami	R	R
Ácido Nítrico 50%	L	N	Buliglicol	R	R
Ácido Oxálico conc.	R	L	Bulúico	R	L
Ácido Oxálico 50%	R	R	Canfora	R	L
Ácido Peracético 20%	R	R	Carbonato de Sódio	R	R
Ácido Peracético 50%	R	L	Cerveja	R	R
Ácido Peracético 70%	R	N D	Cetona	R	Parcial
			Clorato de Potássio	R	R

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS EN UN VERTEDERO DE RESIDUOS SOLIDOS URBANOS

Os tubos PEAD produzem-se habitualmente de acordo com as normas DIN 8074 ou prEN 12201 com as seguintes características.

Los tubos en PEAD se fabrican habitualmente de acuerdo con la norma UNE 53131 o prEN 12201 con las siguientes características.

HDPE pipes are normally produced in accordance with standards DIN 8074 or prEN 12201 with the following characteristics.

Ø mm	SDR 41		SDR 33		SDR 21		SDR 17		SDR 13,6		SDR 11		SDR9		SDR 7,5	
	PN 3.2		PN 4		PN 6,3		PN 8 (*)		PN 10		PN 12.5		PN 16		PN 20	
	e. mín	peso	e. mín	peso	e. mín	peso	e. mín	peso	e. mín	peso	e. mín	peso	e. mín	peso	e. mín	peso
25									2,0	0,148	2,3	0,17	3,0	0,211	3,5	0,241
32							2,0	0,194	2,4	0,231	3,0	0,278	3,6	0,327	4,4	0,387
40					2,0	0,245	2,4	0,293	3,0	0,355	3,7	0,43	4,5	0,51	5,5	0,603
50					2,4	0,372	3,0	0,452	3,7	0,549	4,6	0,667	5,6	0,791	6,9	0,941
63			2,0	0,394	3,0	0,577	3,8	0,72	4,7	0,875	5,8	1,05	7,1	1,26	8,6	1,48
75			2,3	0,546	3,6	0,826	4,5	1,02	5,5	1,22	6,8	1,47	8,4	1,77	10,3	2,11
90	2,2	0,634	2,8	0,787	4,3	1,18	5,4	1,46	6,6	1,75	8,2	2,13	10,1	2,56	12,3	3,02
110	2,7	0,936	3,4	1,17	5,3	1,78	6,6	2,17	8,1	2,63	10,0	3,16	12,3	3,80	15,1	4,52
125	3,1	1,23	3,9	1,51	6,0	2,27	7,4	2,77	9,2	3,39	11,4	4,11	14,0	4,91	17,1	5,82
140	3,5	1,54	4,3	1,88	6,7	2,84	8,3	3,48	10,3	4,24	12,7	5,12	15,7	6,16	19,2	7,31
160	3,9	1,95	4,9	2,43	7,6	3,69	9,5	4,54	11,8	5,54	14,6	6,72	17,9	8,03	21,9	9,52
180	4,4	2,48	5,5	3,07	8,6	4,69	10,7	5,75	13,3	7,03	16,4	8,49	20,1	10,2	24,6	12,0
200	4,9	3,05	6,2	3,85	9,6	5,81	11,9	7,09	14,7	8,62	18,2	10,5	22,4	12,6	27,4	14,9
225	5,5	3,86	6,9	4,79	10,8	7,34	13,4	9,0	16,6	10,9	20,5	13,2	25,1	15,8	30,8	18,8
250	6,1	4,77	7,7	5,94	11,9	8,98	14,8	11,0	18,4	13,5	22,7	16,3	27,9	19,5	34,2	23,2
280	6,9	6,0	8,6	7,43	13,4	11,3	16,6	13,9	20,6	16,9	25,4	20,4	31,2	24,5		
315	7,7	7,54	9,7	9,42	15,0	14,3	18,7	17,5	23,3	21,5	28,6	25,9	35,0	30,9		
355	8,7	9,59	10,9	11,9	16,9	18,1	21,1	22,3	26,1	27,2	32,3	32,9	39,5	39,3		
400	9,8	12,2	12,3	15,2	19,1	23,1	23,7	28,2	29,4	34,4	36,4	41,8	44,5	49,8		
450	11,0	15,3	13,8	19,1	21,5	29,2	26,7	35,7	33,1	43,6	40,9	52,8	50,0	63,0		
500	12,2	18,9	15,3	23,6	23,9	36,0	29,6	44,0	36,8	53,8	45,5	65,2	55,6	77,8		
560	13,7	23,8	17,2	29,6	26,7	45,1	33,0	55,3	41,2	67,5	50,9	81,7				
630	15,4	30,1	19,3	37,4	30,0	56,9	37,1	69,9	46,4	85,5	57,3	104,0				
710	17,4	38,3	21,8	47,5	33,9	72,5	41,8	88,9	52,3	109,0						
800	19,6	48,5	24,5	60,2	38,1	91,9	47,8	113,0	58,9	138,0						
900	22,0	61,2	27,6	76,3	42,9	116,0	53,3	143,0								
1000	24,4	75,5	30,6	93,9	47,7	144,0	59,3	176,0								
1200	29,3	109,0	36,4	134,0	57,2	207,0										

MRS/PE 80
δ = 6,3 MPa
Dens. 0,961

Fabricados segundo:
Fabricados según:
Manufactured according to:

prEN 12201
(*) ISO 4427

PN = bar
Esp., Wall thickness - mm
Peso, Weight - Kg/m

Instalaciones de agua bajo presión

- Agua potable
- Riego
- Canalizaciones industriales

Canalizaciones

- Saneamiento
- Estaciones de depuración de aguas residuales
- Emisarios submarinos
- Rehabilitación de tuberías

Otras Aplicaciones

- Transporte de líquidos agresivos
- Transporte de productos sólidos (arena, etc)
- Distribución de gas
- Protección de cables eléctricos y telefónicos
- Ventilación

Ventajas

Las tuberías de Polietileno presentan las siguientes ventajas frente a las fabricadas con otros materiales tradicionales:

- Inodoro
- Químicamente inerte
- Insípido
- Atóxico
- Insoluble
- Flexible
- Baja conductividad eléctrica
- Bajo factor de fricción
- Aislante térmico
- Ligero
- Bajo módulo elástico
- Duradero
- Mantenimiento inexistente

3. ELECTROVÁLVULAS

ELECTROVÁLVULAS 2/2

de mando asistido
cuerpo de latón, 3/8 a 2



	serie 210	serie 238
Fluidos	aire, gases neutros, agua, aceite	aire, gases neutros, agua
Presión diferencial	ver cuadro de selección	
Temperatura del fluido (TS)	-20°C a +85°C	-10°C a +85°C
Temperatura ambiente (TS)	-20°C a +75°C -20°C a +50°C (CC (=): G1, G1 1/4, G 1 1/2)	-10°C a +60°C
Cuerpo	latón	
Guarniciones	NBR (nitrilo) o FPM (sufijo V) o EPDM (sufijo E)	
Tensiones standard	CC (=) 24 - 48V CA (-) 24 - 48 - 115 - 230V / 50Hz	

- No requiere presión mínima de funcionamiento (serie 210)
- Excelente duración para aplicaciones en exterior
- Bajo consumo (serie 238)
- Amplio rango de caudales (2,4 a 34 m³/h)
- Intercambiabilidad de las bobinas en CA y CC (serie 238)

SU SELECCIÓN

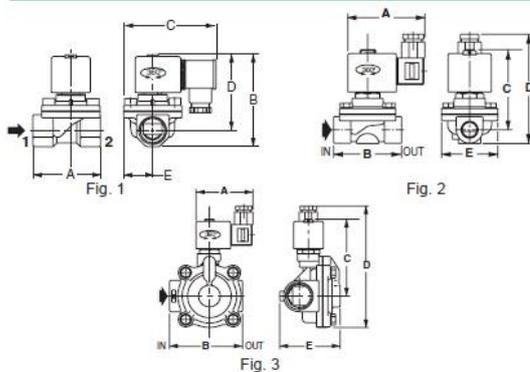
salida fábrica 3 días

Ø racordaje	Ø de paso mm	coeficiente de caudal Kv m³/h	presión diferencial admisible bar						potencia		(M)	conector	código G = ISO 228; E = Rp ISO 7/1; B = NPT	tensiones standard (V)					
			min. bar	max. (PS)			~ W	= W	CA (-) / 50Hz					CC (=)					
				aire/agua	~	=			aceite	~				=	24	48	115	230	24
2/2 NC - Presión min. 0,35 bar (membrana separada)																			
3/8	16	2,6	0,35	14/10	9/7	10	7	6	11,2	X		SCE210D001	✓	✓	✓				
1/2	16	3,4	0,35	14/10	9/7	10	7	6	11,2	X		SCE210D002	✓	✓	✓				
3/4	19	4,3	0,35	9/9	7/6	8	5	6	11,2	X	talla 30	SCE210D009	✓	✓	✓				
1	25	11,1	0,35	9/6	9/9	9	9	6	11,2	X	(2)	SCE210D004				✓	✓		
1 1/2	32	19,3	0,35	9	9	9	9	6	11,2	X		SCE210D022	✓			✓			
2	44	37	0,35	9	3	6	3	9	15,3	X		SCE210-100	✓			✓			

DIMENSIONES

Electroválvulas 2/2, mando asistido, series 210 - 238

serie 210



código	A	B	C	D	E	(C)
SCE210C093						
SCE210C094	70	97	89	80	29	
SCE210D095						
SCE210B154	95	129	104,5	112	41,5	Fig. 1
SCE210B155	95	143	104,5	112	41,5	
SCE210B156	111	153	112,5	125	49,5	
SCE210C033						
SCE210C034	70	108	89	98	29	
SCE210C035	70	117	89	102	29	
SCE210D002	70	103	75	72	29	Fig. 2
SCE210D004	80	111	109	174	100	
SCE210D022	80	111	109	174	100	Fig. 3
SCE210-100 (AC)	75	129	116	203	120	

(C) Tipo de construcción

→ paso del fluido

4. CONTROLADORES DE NIVEL

INTERRUPTORES MAGNÉTICOS DE NIVEL CON BOYA



• Longitud fija

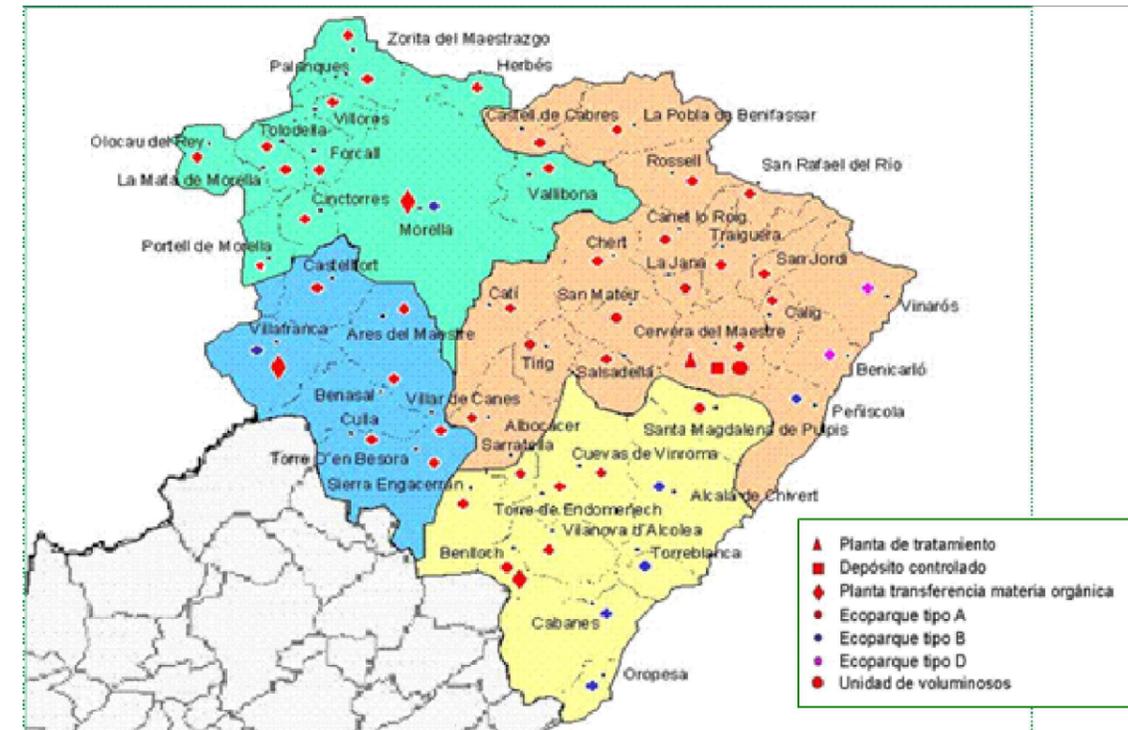
Código	Artículo	ØBoya mm	€
	IMN - LATÓN		
	<ul style="list-style-type: none"> • Cuerpo: Latón • Boya: Polipropileno • Temperatura trabajo: -30 a +60°C • Longitud: 75 mm • Conexión eléctrica cable de PVC 1 metro • Protección IP65 • Invertiendo la posición del flotador contacto NA o NC 		
CN 01 200	IMN 70 LATÓN Rosca 1/4" L-74	36	6€

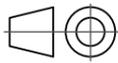
3. PLANOS



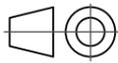
A

A

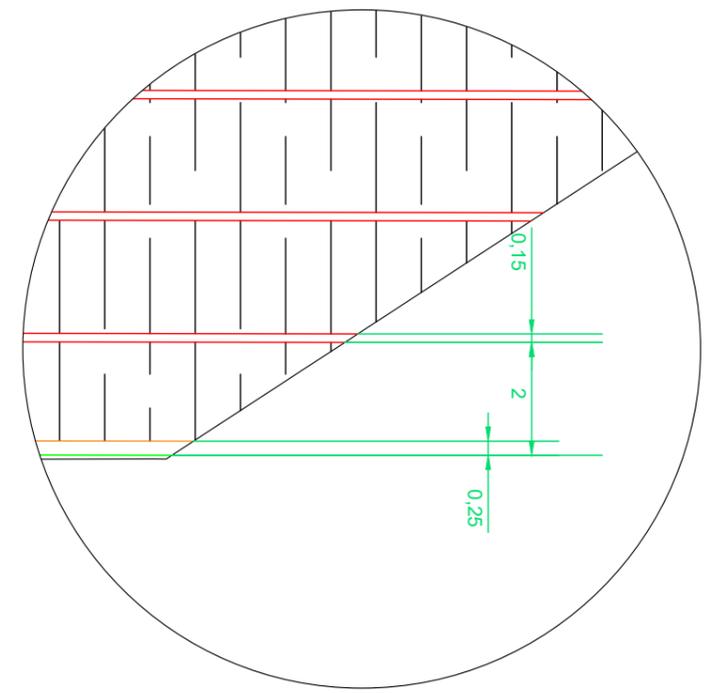
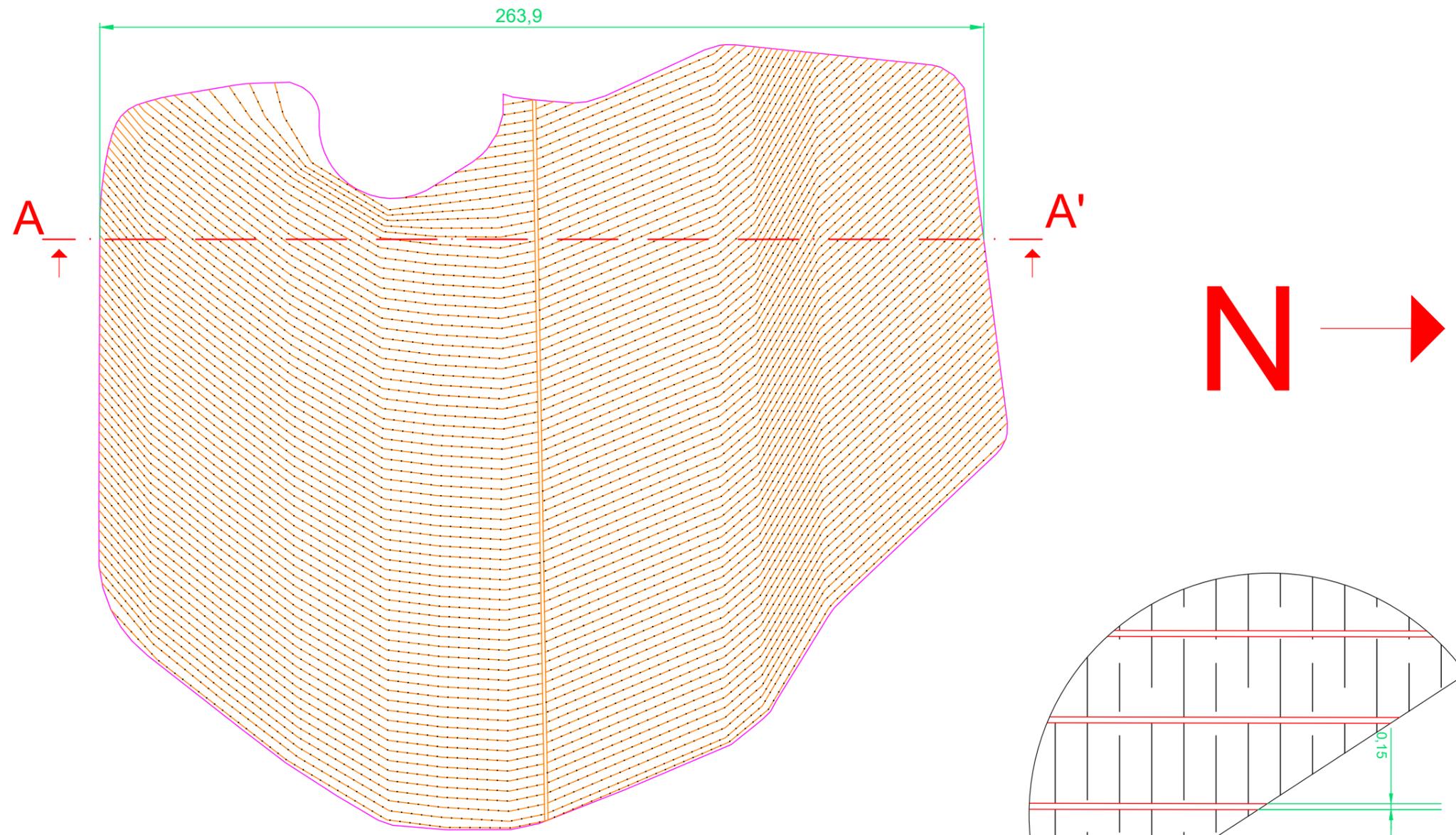


 UNIVERSITAT JAUME I	S/E	Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos	
		Situación/Emplazamiento	
Nº Plano 1		Safont Safont, Diego	EQ

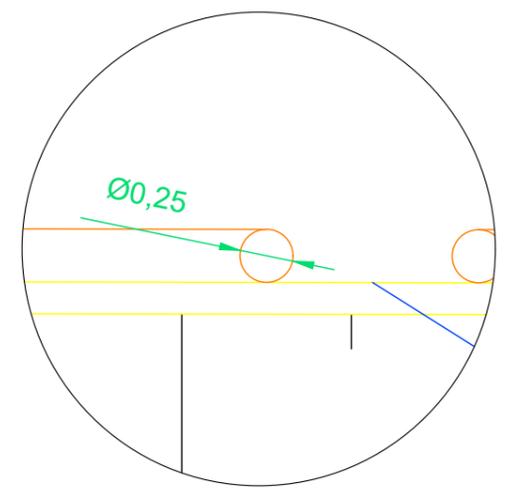


	E 1:2000	Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos	
	m	Distribución de la parcela	
Nº Plano 2		Safont Safont, Diego	EQ

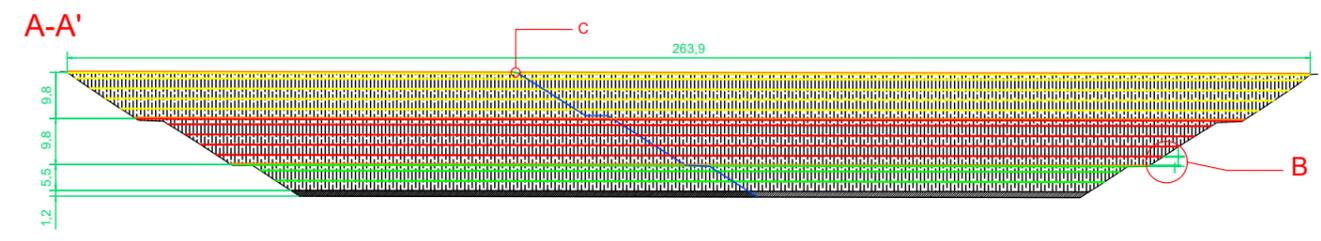
	Vaso del vertedero
	Capa cobertura nivel 3
	Capa cobertura nivel 2
	Capa cobertura nivel 1
	Tubería
	Cotas
	Sección A-A'
	Contorno superficie nivel 1
	Residuos
	Capa de grava

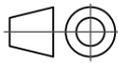


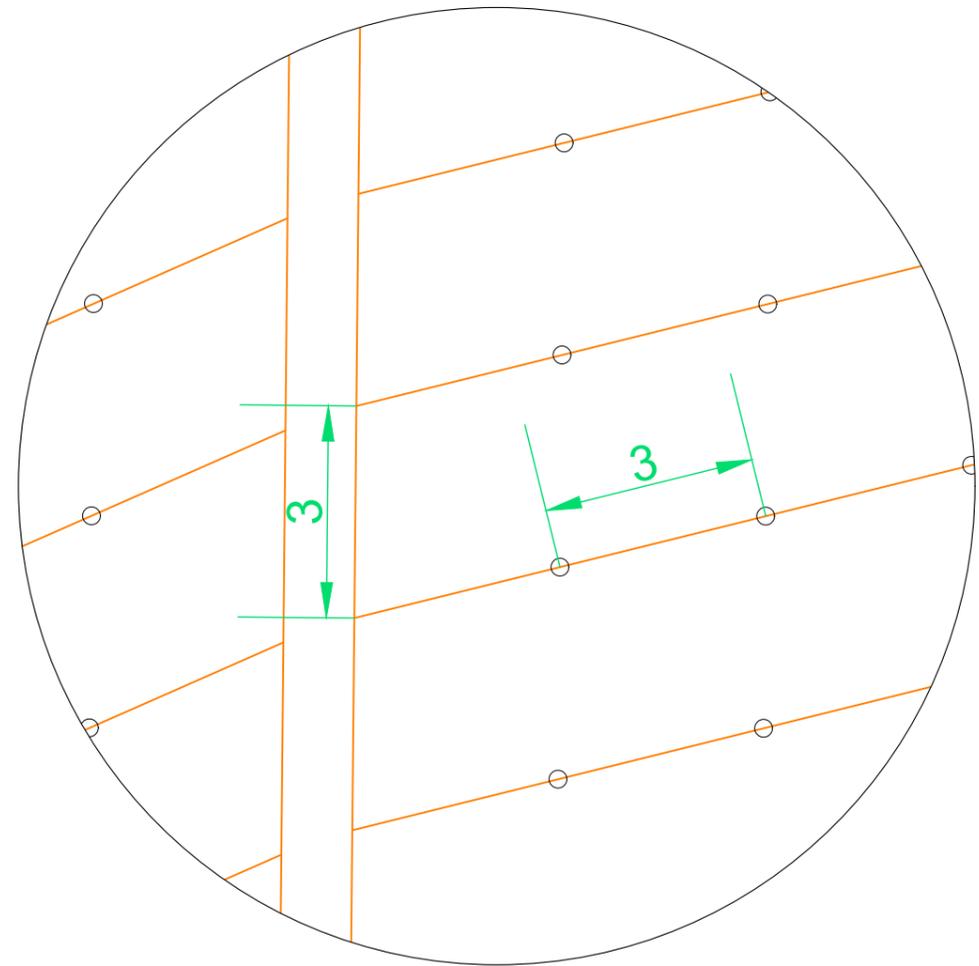
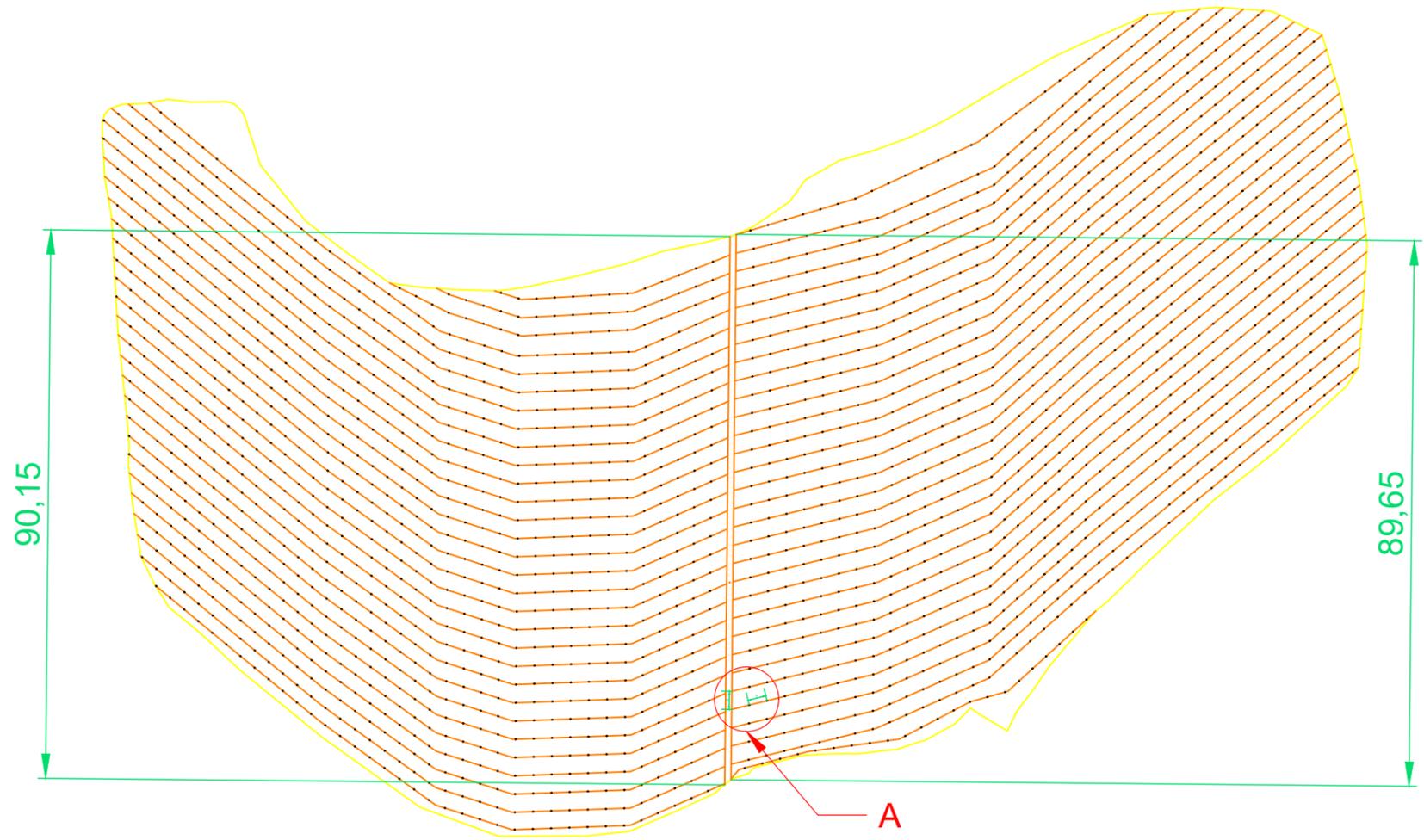
B (1:150)



C (1:15)

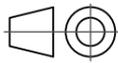


	E 1:1500	Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos	
	m	Sección del vaso	
Nº Plano 3		Safont Safont, Diego	EQ

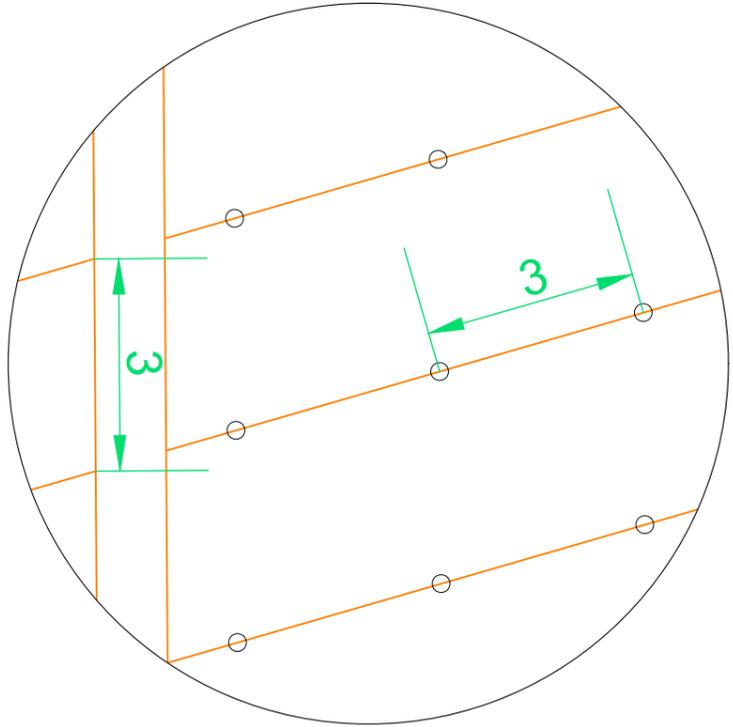


A(1:10)

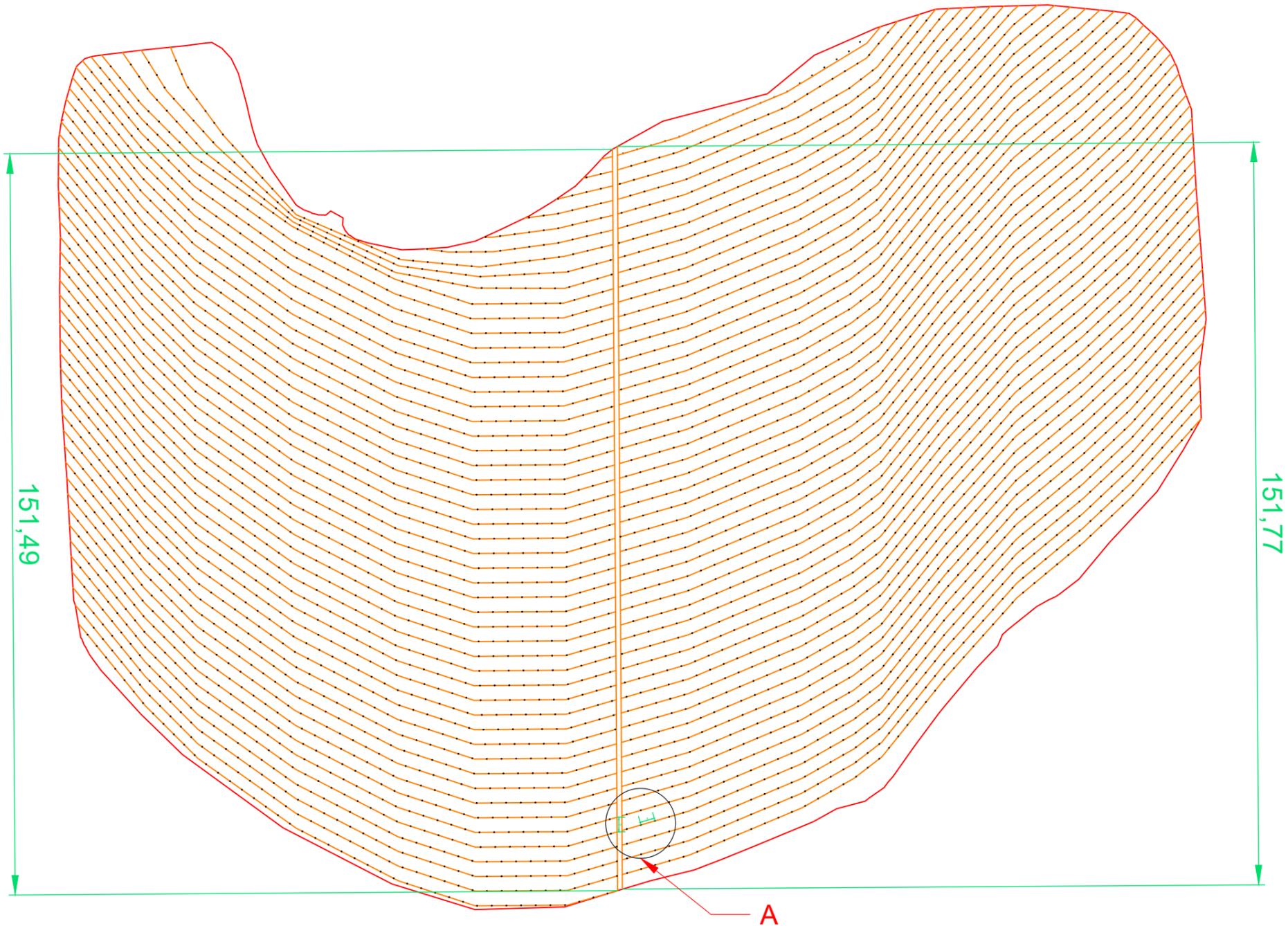
	Gotos
	Contorno superficie nivel 1
	Tubería
	Cotas

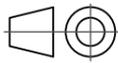
	E 1:1000	Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos	
	m	Distribución tuberías nivel 1	
Nº Plano 4.1		Safont Safont, Diego	EQ

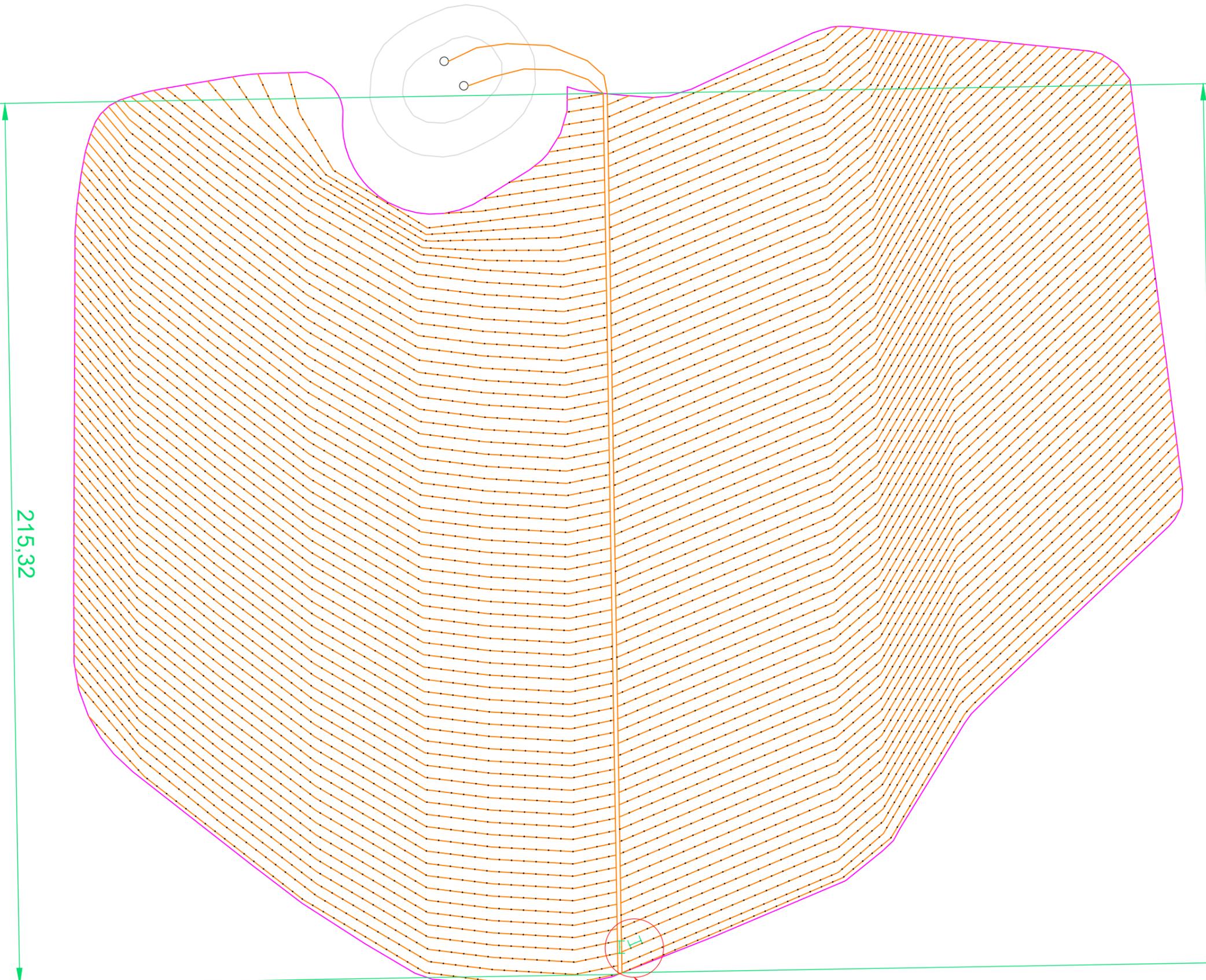
	Gotosos
	Contorno superficie nivel 1
	Tubería
	Cotas



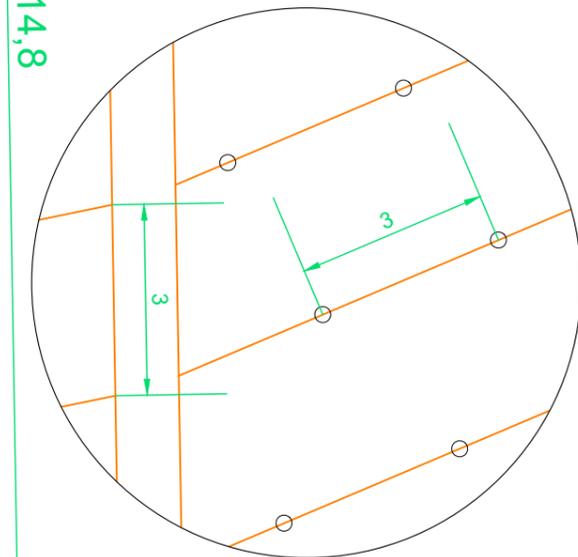
A (1:10)



	E 1:1000	Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos	
	m	Distribución tuberías nivel 2	
Nº Plano 4.2		Safont Safont, Diego	EQ

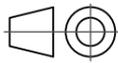


	Goteros
	Contorno superficie nivel 1
	Tubería
	Cotas



A (1:9)

A

	E 1:1000	Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos	
	m	Distribución tuberías nivel 3	
Nº Plano 4.3		Safont Safont, Diego	EQ

4. PLIEGO DE CONDICIONES

ÍNDICE

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES	5
1.1. Objeto	5
1.2. Disposiciones generales	5
1.3. Dirección de la obra	5
1.4. Funciones del director	5
1.5. Personal del contratista.....	6
1.6. Residencia del contratista	7
1.7. Ordenes al contratista	7
1.8. Organización del trabajo	8
1.9. Contradicciones y omisiones de la documentación	8
1.9.1. Datos de la obra	8
1.9.2. Replanteo de la obra	9
1.9.3. Modificaciones acordadas como consecuencia de la comprobación de replanteo.....	9
1.9.4. Ejecución de las obras.....	10
1.9.5. Plazo de ejecución	10
1.10. Precios contradictorios	11
1.11. Indemnizaciones por cuenta del contratista.....	11
1.12. Indemnizaciones al contratista por causa de fuerza mayor	11
1.13. Objetos hallados en las obras	12
1.14. Medidas para evitar contaminaciones.....	12
1.15. Licencias y permisos	12
1.16. Suspensión temporal de las obras.....	12
1.17. Documentos contractuales	13

1.18.	Notificación de terminación de la obra	13
1.19.	Inspección de las obras	14
1.20.	Recepción y plazo de garantía	14
1.21.	Libre acceso a la propiedad en la obra.....	14
1.22.	Responsabilidad por vicios ocultos.....	14
2.	PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS	15
2.1.	Control de calidad de la ejecución	15
2.2.	Documento de la obra	15
2.3.	Libro de incidencias	16
2.3.1.	Paralización de los trabajos.....	16
2.3.2.	Modificaciones del proyecto	17
2.3.3.	Variaciones en el plazo de ejecución consecuencia de las modificaciones.	17
2.3.4.	Aviso previo e información a la autoridad laboral	17
2.4.	Equipos de maquinaria	18
2.4.1.	Ensayos.....	19
2.5.	Procedencia y aprovechamiento de materiales.....	19
3.	OBRAS QUE COMPRENDE EL PROYECTO.....	20
4.	PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS.....	20
4.1.	Alcance de suministro motogenerador	20
4.1.1.	Documentación.....	21
4.2.	Bomba de recirculación.....	21
4.2.1.	Documentación.....	22
4.3.	Obra civil	22
4.3.1.	Tuberías y piezas PEAD	22
4.4.	Ejecución de la obra civil	24

4.4.1. Perforaciones.....	24
4.4.2. Tuberías	24

1. PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

1.1. Objeto

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

El ámbito de aplicación se circunscribe a la ejecución del “Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos” acorde a la normativa vigente.

1.2. Disposiciones generales

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

1.3. Dirección de la obra

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

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

1.4. Funciones del director

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

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

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

1.5. Personal del contratista

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

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

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

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

1.6. Residencia del contratista

El contratista está obligado a comunicar a la propiedad, en un plazo de quince días, contados a partir de la fecha en que se le haya notificado la adjudicación definitiva de las obras, su residencia o la de su delegado, a todos los derivados de la ejecución de aquéllas.

Esta residencia estará situada en las obras o en una localidad próxima a su emplazamiento, y tanto para concretar inicialmente su situación como para cualquier cambio futuro, el contratista deberá contar con previa conformidad de la propiedad.

Desde que comiencen las obras hasta su recepción definitiva, el contratista o su delegado deberá residir en el lugar indicado, y sólo podrá ausentarse de él previa la comunicación a la dirección de la persona que designe para sustituirle.

1.7. Ordenes al contratista

El “Libro de Órdenes” será diligenciado previamente por el servicio a que esté adscrita la obra, se abrirá en la fecha de comprobación del replanteo y se cerrará en la de la recepción definitiva.

Durante dicho lapso de tiempo estará a disposición de la dirección, que, cuando proceda, anotará en él las órdenes, instrucciones y comunicaciones que estime oportunas, autorizándolas con su firma.

El contratista estará también obligado a transcribir en dicho libro, por sí o por medio su delegado cuantas órdenes o instrucciones reciba por escrito de la Dirección, y a firmar, a los efectos procedentes, el oportuno acuse de recibo, sin perjuicio de la necesidad de una posterior autorización de tales transcripciones por la Dirección, con su firma, en el libro indicado.

Efectuada la recepción definitiva, el “Libro de Órdenes” pasará a poder de la propiedad, si bien podrá ser consultado en todo momento por el contratista.

1.8. Organización del trabajo

Se entregará una copia completa de planos y pliego de condiciones del proyecto, así como la información que se necesite para la completa ejecución de la obra.

1.9. Contradicciones y omisiones de la documentación

Lo mencionado, tanto en el Pliego General de Condiciones, como en el particular de cada obra y omitido en los Planos, o viceversa, habrá de ser ejecutado como si estuviese expuesto en ambos documentos. En caso de contradicción entre los Planos y alguno de los mencionados Pliegos de Condiciones, prevalecerá lo escrito en los primeros.

Las omisiones en los Planos y Pliegos de Condiciones o las descripciones erróneas de los detalles de la obra que deban ser subsanadas para que pueda llevarse a cabo el espíritu o intención expuesto en los Planos y Pliegos de Condiciones o que por uso y costumbres deben ser realizados, deberán ser ejecutados como si se hubiera sido completa y correctamente especificados en los Planos y Pliegos de Condiciones.

Los errores materiales que pueda contener el Proyecto de la propiedad, no anularán el Contrato, en tanto no sean denunciados por cualquiera de las partes, dentro de los dos meses computados a partir de la fecha del Acta de Comprobación del Replanteo y afectan además al menos, al 20 % del importe del presupuesto de la obra.

1.9.1. Datos de la obra

Por otra parte, en un plazo máximo de dos meses después de la terminación de los trabajos, se actualizarán los diversos planos y documentos existentes, de acuerdo con las características de la obra terminada.

1.9.2. Replanteo de la obra

El Director de Obra, deberá hacer el replanteo de las mismas, con especial atención en los puntos singulares. El acta de comprobación de replanteo reflejará la conformidad o disconformidad del mismo respecto de los documentos contractuales del proyecto, con especial y expresa referencia a las características geométricas de la obra, a la autorización para la ocupación de los terrenos necesarios y a cualquier punto que pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Caso de que el Contratista, sin formular reservas sobre la viabilidad del proyecto, hubiera hecho otras observaciones que puedan afectar a la ejecución de la obra, consideradas tales observaciones, decidirá iniciar o suspender el comienzo de la obra, justificándolo en la propia acta.

La presencia del contratista en el acta de comprobación de replanteo podrá suplirse por la de un representante debidamente autorizado, quien asimismo suscribirá el acta correspondiente.

Un ejemplar del acta se remitirá a la Administración, otro se entregará al contratista y un tercero a la dirección. Todos los gastos que se originan como consecuencia de la comprobación del replanteo, serán por cuenta del Contratista.

1.9.3. Modificaciones acordadas como consecuencia de la comprobación de replanteo

Si como consecuencia de la comprobación del replanteo se deduce la necesidad de introducir modificaciones en el proyecto, el Director redactará en el plazo de quince días, y sin perjuicio de la remisión inmediata del acta, una estimación razonable del importe de aquellas modificaciones.

Si la propiedad decide la modificación del proyecto, se procederá a redactar las modificaciones precisas para su viabilidad, acordando la suspensión temporal, total o parcial de la obra y ordenando en este último caso la iniciación de los trabajos en aquellas partes no afectadas por las modificaciones previstas en el proyecto.

1.9.4. Ejecución de las obras

Las obras se ejecutarán conforme al Proyecto y a las condiciones contenidas en este Pliego de Condiciones y en el Pliego Particular si lo hubiera y de acuerdo con las especificaciones señaladas en el de Condiciones Técnicas.

En el programa de trabajo a presentar, en su caso, por el contratista se deberán incluir los siguientes datos:

- a) Ordenación en partes o clases de obra de las unidades que integran el proyecto, con expresión de volumen de éstas.
- b) Determinación de los medios necesarios, tales como personal, instalaciones, equipos y materiales, con expresión de sus rendimientos medios.
- c) Estimación en días calendario de los plazos de ejecución de las diversas obras u operaciones preparatorias, equipo e instalaciones y de los de ejecución de las diversas partes o clases de obra.
- d) Valoración mensual y acumulada de la obra programada, sobre la base de las obras y operaciones preparatorias, equipo e instalaciones y partes o de la de obra a precios unitarios.
- e) Gráficos de las diversas actividades o trabajos.

1.9.5. Plazo de ejecución

Los plazos de ejecución, total y parciales, indicados en el contrato, se empezarán a contar a partir de la fecha de replanteo.

Es obligado cumplir con los plazos que se señalen en el contrato para la ejecución de las obras y que serán improrrogables.

Los plazos parciales corresponderán a la terminación y puesta a disposición de determinados elementos, obras o conjuntos de obras, que se consideren necesarios para la prosecución de otras fases de la construcción o del montaje.

Estas obras o conjunto de obras que condicionan un plazo parcial, se definirán bien por un estado de dimensiones, bien por la posibilidad de prestar en ese momento y sin restricciones, el uso, servicio o utilización que de ellas se requiere.

Si por cualquier causa, no fuera posible empezar en la fecha prevista o tuvieran que ser suspendidas una vez empezadas, se concederá por el Director de Obra, la prórroga estrictamente necesaria.

El plazo de ejecución previsto para las obras proyectadas será de aproximadamente 40 días desde la obtención de permisos.

1.10. Precios contradictorios

Cuando se juzgue necesario emplear materiales o ejecutar unidades de obra que no figuren en el presupuesto del proyecto base del contrato se procederá a la fijación de los precios contradictorios.

La propuesta del Director sobre los nuevos precios a fijar se basará en cuanto resulte de aplicación, en los costes elementales fijados en la descomposición de los precios unitarios integrados en el contrato, y en cualquier caso en los costes que correspondiesen a la fecha en que tuvo lugar la licitación del mismo.

Los nuevos precios, una vez aprobados por la Administración, se considerarán incorporados a todos los efectos a los cuadros de precios del proyecto que sirvió de base para el contrato.

1.11. Indemnizaciones por cuenta del contratista

Será obligación del contratista indemnizar los daños que se causen a la propiedad o al personal dependiente de la misma, por iguales causas y con idénticas excepciones que las que con referencias a terceros señala el artículo 134 del Reglamento General de Contratación.

1.12. Indemnizaciones al contratista por causa de fuerza mayor

El contratista tendrá derecho a ser indemnizado por la propiedad en los casos y forma que determina y establece el Reglamento General de Contratación, si bien en el expediente deberá acreditar que, previamente al suceso, había tomado las medidas y precauciones razonables para prevenir y evitar, en lo posible, que las unidades de obra ejecutadas y los materiales acopiados en la obra pudieran sufrir daños por eventos de la naturaleza.

En la valoración de los daños causados se tendrá en cuenta la adopción de las medidas y precauciones razonables por parte del contratista, a fin de segregarse de aquellos daños que

se hubiesen podido evitar, de haberse tomado las medidas oportunas previas o inmediatamente después de acaecer el hecho causa de los daños.

1.13. Objetos hallados en las obras

El Estado se reserva la propiedad de los objetos de arte, antigüedades, monedas y, en general, objetos de todas clases que se encuentren en las excavaciones y demoliciones practicadas en terrenos del Ayuntamiento o expropiados para la ejecución de la obra, sin perjuicio de los derechos que legamente correspondan a terceros.

El contratista tiene la obligación de emplear todas las precauciones que para la extracción de tales objetos le sean indicados por la Dirección y derecho a que se le abone el exceso de gastos que tales trabajos le causen.

El contratista está también obligado a advertir a su personal de los derechos del Estado sobre este extremo, siendo responsable subsidiario de las sustracciones o desperfectos que pueda ocasionar el personal empleado en la obra.

1.14. Medidas para evitar contaminaciones

El contratista adoptará las medidas necesarias para evitar la contaminación de cauces, conducciones y depósitos de agua, por efecto de los combustibles, aceites o cualquier otro material perjudicial.

1.15. Licencias y permisos

El contratista deberá obtener a su costa todos los permisos o licencias necesarios para la ejecución las obras, con excepción de los correspondientes a expropiaciones, servidumbre y servicios definidos en el contrato.

1.16. Suspensión temporal de las obras

Si la suspensión temporal afecta a una o varias partes o clases de la obra contratada, se utilizará la denominación “Suspensión temporal parcial” en el texto del acta de suspensión y en toda la documentación que haga referencia a la misma; si afecta a la totalidad de la obra contratada, se utilizará la denominación “Suspensión temporal total” en los mismos documentos. En ningún caso se utilizará la denominación "Suspensión temporal” sin concretar el alcance de la misma.

Siempre que la propiedad acuerde una suspensión temporal, parcial o total de la obra o una suspensión definitiva, se deberá levantar la correspondiente acta de suspensión, que

deberá ir firmada por el Director y el contratista, y en la que se hará constar el acuerdo de la propiedad que originó la suspensión definiéndose concretamente la parte o partes o la totalidad de la obra afectadas por aquélla.

Al acta se debe acompañar, como anejo y en relación con la parte o partes suspendidas, la medición tanto de la obra ejecutada en dicha o dichas partes como de los materiales acopiados a pie de obra utilizables exclusivamente en las mismas. La Dirección remitirá un ejemplar del acta de suspensión y su anejo a la propiedad.

Si la propiedad, para acordar una suspensión temporal que exceda del período de tiempo que para estos efectos fijen las disposiciones vigentes, tuviese que abonar daños y perjuicios al contratista, su determinación atenderá, entre otros factores, a la perturbación que la suspensión hubiera producido en el ritmo de ejecución previsto en el programa de trabajos, con la consiguiente repercusión en la utilización de maquinaria y de personal y a la relación que represente el importe de las partes de obra a que alcanza la suspensión con el presupuesto total de la obra contratada.

1.17. Documentos contractuales

Tienen obligatoriamente el carácter de contractual:

- Los Planos.
- El Pliego de Condiciones.
- Los Cuadros de Precios N°1 y N° 2.

El resto de la documentación, es información fundada del Proyectista, que el Contratista recabará por sus propios medios.

1.18. Notificación de terminación de la obra

El contratista o su delegado, comunicará por escrito a la Dirección la fecha prevista para la terminación de la obra.

El Director, en caso de conformidad con la citada comunicación del contratista, la elevará con su informe, a la propiedad, a los efectos de que ésta proceda al nombramiento de un representante para la recepción provisional.

1.19. Inspección de las obras

Incumbe a la propiedad, ejercer de una manera continuada y directa, la inspección de la Obra durante su ejecución a través de la Dirección de Obra, sin perjuicio de que pueda confiar tales funciones de un modo complementario a cualquier otro de sus órganos y representantes.

1.20. Recepción y plazo de garantía

A la recepción de las obras a su terminación concurrirá un facultativo designado por la Administración representante de ésta, el facultativo encargado de la dirección de las obras y el contratista asistido, si lo estima oportuno, de su facultativo.

Si se encuentran las obras en buen estado y con arreglo a las prescripciones previstas, el funcionario técnico designado por la Administración contratante y representante las dará por recibidas, levantándose la correspondiente acta y comenzando entonces el plazo de garantía.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas se hará constar así en el acta y el director de las mismas señalará los defectos observados y detallará las instrucciones precisas fijando un plazo para remediar aquéllos. Si transcurrido dicho plazo el contratista no lo hubiere efectuado, podrá concedérsele otro nuevo plazo improrrogable o declarar resuelto el contrato.

El plazo de garantía se establecerá en el pliego de cláusulas administrativas particulares atendiendo a la naturaleza y complejidad de la obra y no podrá ser inferior a un año, salvo casos especiales.

1.21. Libre acceso a la propiedad en la obra

En todo momento la propiedad (en la figura del Director de obra) posee el derecho de acceso en la obra y el conjunto de sus instalaciones.

1.22. Responsabilidad por vicios ocultos

Si la obra se arruina con posterioridad a la expiración del de garantía por vicios ocultos de la construcción, debido al incumplimiento del contrato por parte del contratista, responderá éste de los daños y perjuicios durante el término de quince años a contar desde la recepción.

Transcurrido este plazo sin que se haya manifestado ningún daño o perjuicio, quedará totalmente extinguida la responsabilidad del contratista.

2. PLIEGO DE CONDICIONES FACULTATIVAS

2.1. Control de calidad de la ejecución

Se establecerán los controles necesarios para que la obra en su ejecución cumpla con todos los requisitos especificados en el presente pliego de condiciones.

2.2. Documento de la obra

Durante la obra o una vez finalizada la misma el técnico responsable como Director de Obra podrá verificar que los trabajos realizados están de acuerdo con el Proyecto y especificaciones de Calidad en la ejecución.

Una vez finalizadas las obras, se deberá solicitar la recepción del trabajo, en ella se incluirá la medición de la conductividad de la toma de tierra y las pruebas de aislamiento de los cables.

A la conclusión del trabajo se confeccionarán los planos final de obra que se entregarán inmediatamente acabada ésta y en el que figurarán todos los detalles singulares que se hubieran puesto de manifiesto durante la ejecución de la misma.

La escala del plano será la necesaria y contendrá la topografía urbanística real con el correspondiente nombre de las parcelas existentes. En este figurarán las anotaciones precisas para su exacta situación, distancias, profundidades, etc.

Asimismo constarán los cruzamientos, paralelismos y detalles de interés respecto a otros servicios como conducciones de agua, gas, electricidad comunicación y alcantarillado.

De vital importancia será la anotación puntual de defectos corregidos en situaciones antirreglamentarias halladas durante el tendido, así como las adoptadas frente a puntos conflictivos que se hayan dado durante el mismo y que pudieran afectar a la normativa vigente de seguridad.

Con la entrega del plano se acompañará el certificado final de obra para su legalización así como el certificado de reconocimiento de cruzamientos y paralelismos de las instalaciones.

El formato de los Planos será el establecido en la norma de la empresa correspondiente.

2.3. Libro de incidencias

Para el control y seguimiento del proyecto existirá un libro de incidencias habilitado al efecto, que será facilitado por el Colegio profesional al que pertenezca el técnico que apruebe el mismo.

El libro de incidencias, que deberá mantenerse siempre en la obra, estará en poder de la dirección facultativa. A dicho libro tendrán acceso la dirección facultativa de la obra, los contratistas y subcontratistas y los trabajadores autónomos, así como las personas u órganos con responsabilidades en materia de prevención en las empresas que intervengan en la obra, los representantes de los trabajadores y los técnicos de los órganos especializados en materia de seguridad y salud en el trabajo de las Administraciones públicas competentes, quienes podrán hacer anotaciones en el mismo, relacionadas con los fines que se le reconocen al libro.

Efectuada una anotación en el libro de incidencias la dirección facultativa estará obligada a remitir, en el plazo de veinticuatro horas, una copia a la Inspección de Trabajo y Seguridad Social del estado en que se realiza. Igualmente deberán notificar las anotaciones en el libro al contratista afectado y a los representantes de los trabajadores de éste.

2.3.1. Paralización de los trabajos

Cuando el coordinador en materia de seguridad y salud, durante la ejecución de la obra, o cualquier otra persona integrada en la dirección facultativa, observase incumplimiento de las medidas de seguridad y salud, advertirá al contratista de ello, dejando constancia de tal incumplimiento en el libro de incidencias.

En circunstancias de riesgo grave e inminente para la seguridad y salud de los trabajadores, dispondrá la paralización de los tajos o, en su caso, de la totalidad de la obra, y dará cuenta a los efectos oportunos a la inspección de Trabajo y Seguridad Social correspondiente, a los contratistas y en su caso subcontratistas afectados por la paralización y a los representantes de los trabajadores de éstos.

2.3.2. Modificaciones del proyecto

Se podrán introducir aquellas modificaciones que produzcan aumento o disminución y una supresión de las unidades de obra marcadas en el presupuesto, o sustitución de una clase de fábrica por otra, siempre que esta sea de las comprendidas en el contrato.

Cuando se trate de aclarar o interpretar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos o dibujos, las órdenes o instrucciones se comunicaran exclusivamente por escrito.

No se admitirán mejoras de obra más que en el caso de que la Dirección de la Obra haya ordenado por escrito, la ejecución de trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados.

Tampoco se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, salvo caso de error en las mediciones del Proyecto, o salvo que la Dirección de Obra, ordene también por escrito la ampliación de las contratadas. Se seguirá el mismo criterio y procedimiento, cuando se quieran introducir innovaciones que supongan una reducción apreciable en las unidades de obra contratadas.

2.3.3. Variaciones en el plazo de ejecución consecuencia de las modificaciones

Acordada por la Administración la redacción de modificaciones del proyecto que impliquen la imposibilidad de continuar ejecutando determinadas partes de la obra contratada, deberá acordarse igualmente la suspensión temporal, parcial o total de la obra.

En cuanto a la variación en más o en menos de los plazos que se deriven de la ejecución de las modificaciones del proyecto aprobadas, se estará sujeto a lo establecido en el artículo 149 del Reglamento General de Contratación, sin perjuicio de lo que proceda si hubiera habido lugar en suspensión temporal, parcial o total.

2.3.4. Aviso previo e información a la autoridad laboral

El promotor avisará a la autoridad laboral competente antes del comienzo de los trabajos. El aviso previo se redactará con el contenido siguiente:

- Fecha.
- Dirección exacta de la obra.

- Promotor (nombre/s y dirección/direcciones).
- Tipo de obra.
- Proyectista/s (nombre/s y dirección/direcciones).
- Coordinador/es en materia de seguridad y salud durante la elaboración del proyecto de obra (nombre/s y dirección/direcciones).
- Coordinador/es en materia de seguridad y salud durante la ejecución de la obra (nombre/s y dirección/direcciones).
- Fecha prevista para el comienzo de la obra.
- Duración prevista de los trabajos de la obra.
- Número máximo estimado de trabajadores en la obra.
- Número previsto de contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos en la obra.
- Datos de identificación de contratistas, subcontratistas y trabajadores autónomos ya seleccionados.

2.4. Equipos de maquinaria

El contratista queda obligado a aportar a las obras el equipo de maquinaria y medios auxiliares que sea preciso para la buena ejecución de aquellas en los plazos parciales y total convenidos en el contrato.

En el caso de que para la adjudicación del contrato hubiese sido condición necesaria la aportación por el contratista de un equipo de maquinaria y medios auxiliares concreto y detallado, el Director exigirá aquella aportación en los mismos términos y detalle que se fijaron en tal ocasión.

EL equipo quedará adscrito a la obra en tanto se hallen en ejecución las unidades en que ha de utilizarse, en la inteligencia de que no podrá retirarse sin consentimiento expreso del Director y debiendo ser remplazado los elementos averiados e inutilizados siempre que su reparación exija plazos que aquél estime han de alterar el programa de trabajo.

Cada elemento de los que constituyen el equipo será reconocido por la Dirección, anotándose sus altas y bajas de puesta en obra en el inventario del equipo. Podrá también

rechazar cualquier elemento que considere inadecuado para el trabajo en la obra, con derecho del contratista a reclamar frente a tal resolución ante la Administración en el plazo de diez días, contados a partir de la notificación que se haga por escrita el Director.

El equipo aportado por el contratista quedará de libre disposición del mismo a la concesión de la obra, salvo estipulación contraria.

El contratista no podrá efectuar reclamación alguna fundada en la insuficiencia de la dotación o del equipo de propiedad que hubiera podido prever para la ejecución de la obra, aun cuando éste estuviese detallado en alguno de los documentos del proyecto.

2.4.1. Ensayos

La Dirección de Obra podrá ordenar que se verifiquen los ensayos y análisis de materiales, hasta el 1 % del Presupuesto de Ejecución del Proyecto, siendo dicho importe con cargo del Contratista.

2.5. Procedencia y aprovechamiento de materiales

El contratista tiene libertad para obtener los materiales naturales de las obras de puntos que tenga por conveniente, siempre que los mismos reúnan las condiciones exigidas en el presente pliego de prescripciones técnicas. En el caso de que la propiedad hubiese establecido una concreta procedencia de aquellos materiales en el contrato, y posteriormente, fuese imprescindible.

El contratista puede aprovechar, con destino a la obra contratada, las sustancias minerales que se encuentren en terrenos del Estado o del Ayuntamiento, incluso de naturaleza comunal, así como abrir y explotar canteras en ellos, con sujeción a las normas y prescripciones establecidas por el ente público titular de aquellos, con obligación de darle aviso anticipado de sus actividades previstas y respetando o reponiendo las servidumbres existentes, así como adoptando las medidas oportunas para no perturbar el libre y seguro uso de dichos terrenos.

Los materiales o productos resultantes de excavaciones, demoliciones o talas que no utilice el contratista en la obra y puedan aprovecharse en cualquiera otra del Estado serán acopiados por aquél en los puntos y forma que ordene la Dirección, siéndole de abono los gastos suplementarios de transporte, vigilancia y almacenamiento. En cualquier otro caso y previa autorización por escrito del Director, el contratista podrá disponer libremente de aquellos.

3. OBRAS QUE COMPRENDE EL PROYECTO

El conjunto de las obras que comprenden el presente proyecto “Estudio de viabilidad para la producción de biogás en un vertedero de residuos sólidos urbanos” consisten en las instalaciones auxiliares necesarias para el aprovechamiento energético del biogás y las conducciones de recirculación de los lixiviados/agua.

Las obras a realizar en el vertedero de residuos no peligrosos serán las siguientes:

1. Instalación del sistema de recirculación de lixiviados/agua.
2. Ejecución de la instalación de conducción y regulación de biogás.
3. Conexión con los equipos de aprovechamiento energético.

4. PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS

4.1. Alcance de suministro motogenerador

El motogenerador suministrado está compuesto por las siguientes características:

- **Motogenerador TFBG-150GF, de 150kW.**

- Velocidad de 1500 rpm.
- Voltaje clasificado en 230/400 V.
- Tipo de salida CA trifásica.
- Factor de potencia 0,8 lag.
- Frecuencia de 50 Hz.
- Panel de control Smartgen.
- Certificado ISO9001.
- Tipo de grupo electrógeno OpenType.
- Refrigeración por agua.

- **Motor 12V190Z.**

- Número de cilindros 12V.
- Modo de inicio: 24 V DC.
- Refrigeración mediante agua.

- **Generador LONGGANG.**
 - o Modelo HDI.404D, de 728 kW.

4.1.1. Documentación

Con cada una de los módulos se entregará la siguiente documentación:

- Certificados de calidad.
- 2 manuales de operación del módulo.
- 2 manuales de mantenimiento.
- 2 juegos de planos.

4.2. Bomba de recirculación

Las bombas suministradas para la recirculación de los lixiviados son:

- **Bombas sumergibles con rodete monocanal.**
 - o Doble cierre mecánico en cámara de aceite (cierre de labio lado motor para potencias hasta 1,4 kW).
 - o Brida de impulsión DN 80-100-150
 - o Motor de inducción a 2 o 4 polos, 50 Hz.
 - o Versión monofásico 230 V \pm 10%, con interruptor de nivel.
 - o Versión trifásico: 400V \pm 10%, hasta 3,2 kW / 400/690V \pm 10% superiores a 3,2 kW.
 - o Condensador incorporado.
 - o Aislamiento clase: H.
 - o Protección: IP 68.
 - o Arranques por hora máximos: 15 en intervalos regulares.
 - o Cable: H07RN-F, longitud 10 m.
- **Materiales principales.**
 - o Cuerpo bomba: hierro EN-GJL-250.
 - o Rodete: hierro EN-GJL-250+Ni.
 - o Carcasa motor: hierro EN-GJL-250.
 - o Tapa motor: hierro EN-GJL-250.
 - o Eje: acero al cromo AISI 420B.
 - o Cierre de labio en nitrilo hasta 1,4 kW.

- Cierre mecánico lado motor: grafito/cerámica para potencias superiores a 1,4 kW.
- Cierre mecánico lado bomba: carburo de silicio / carburo de silicio.

4.2.1. Documentación

Con cada una de los módulos se entregará la siguiente documentación:

- Certificados de calidad.
- 2 manuales de operación del módulo.
- 2 manuales de mantenimiento.
- 2 juegos de planos.

4.3. Obra civil

Todo material a emplear en las obras cumplirá los requisitos del presente Pliego. La Dirección Facultativa podrá desechar todo material que no reúna las características exigidas, comunicándolo por escrito al Contratista, fijándole un plazo prudencial para la sustitución del mismo.

Si finalizado el plazo, el material no ha sido sustituido, la Dirección Facultativa se encargará de ello, asumiendo los gastos el Contratista.

4.3.1. Tuberías y piezas PEAD

En las tuberías de extracción y conducción, y piezas adicionales se utilizará polietileno de alta densidad de las siguientes características:

- La fabricación se realizará a partir de una banda nervada del material citado anteriormente. No obstante las características podrán ser cambiadas y exigibles a juicio de la Dirección de Obra.
- Las tuberías de drenaje, serán de polietileno de alta densidad de sección circular con pared interior lisa, exento de plastificantes y cargas, con condiciones de permeabilidad e inalterabilidad y características hidráulicas y resistentes óptimas.
- Serán inatacables por insectos y roedores, e insensibles a las aguas y terrenos agresivos.
- La tubería elegida debe cumplir al menos las siguientes características físicas:
 - Densidad: de 1,35 a 1,45 kg/dm³.
 - Resistencia a tracción simple: 500 kg/cm².

- Alargamiento a la rotura: 80 %.
- Superficie de filtración: 100 cm²/ml (Para drenes y tubería de desgasificación por debajo de la capa de sellado, la tubería será ranurada o perforada. La tubería que discurre por encima de la capa de sellado será cerrada).

Las tuberías de polietileno de alta densidad se regirán por la Norma UNE 53.333.

Las características físicas mínimas que se exigirán al material serán:

Tabla P4.1. Características mecánicas.

CARACTERISTICA	VALOR	NORMA
Rigidez circumferencial	8 kN/m ²	ISO 9969
Resistencia al choque	TIR < 10%	UNE EN 744
Flexibilidad del anillo	30%	EN 1446

Tabla P4.2. Características físicas.

CARACTERISTICA	VALOR	NORMA
Retracción longitudinal	<3%	UNE EN 743
Ensayo de estufa	No fisuras ni burbujas	ISO 12091
Índice de fluidez (5kg/190°)	0,25 g/ 10 min	ISO 1133

Tabla P4.3. Características funcionales.

CARACTERISTICA	VALOR	NORMA
Estanqueidad de la unión	< 3%	UNE EN 1277

Los tubos serán de sección circular con sus extremos cortados en sección perpendicular a su eje longitudinal.

Estarán exentos de rebabas, fisuras, granos y presentarán una distribución uniforme de color. Se recomienda que estos tubos sean de color negro humo definido en la UNE 48.103 con la referencia B-334, en cuyo caso podrá prescindirse de las siglas SAN (1,140).

4.4. Ejecución de la obra civil

4.4.1. Perforaciones

El método de avance deberá ser aquel que permita un rendimiento óptimo, así como una buena testificación del espesor perforado por lo que se deduce que deberá realizarse a rotación ya sea con coronas o tricono.

Las perforaciones se harán en seco y, si por imposiciones técnicas debiera utilizarse algún fluido de perforación, será agua en la menor proporción posible o aire a presión.

En caso de utilización de agua podrá combinarse con espesantes poliméricos, llevándose un control estricto tanto del volumen de agua utilizada como del espesante agregado. Queda excluida la utilización de bentonita sódica para su mezcla en lodos de perforación.

La perforación se realizará de una vez o en 2 fases hasta conseguir que el espacio tenga una dimensión de 50 mm al menos, excéntricamente a la columna de entubación.

En caso de que existan inestabilidades en las paredes del sondeo durante su perforación, se evitarán mediante el uso de tuberías de acero de longitud variable que contengan dichas inestabilidades simultáneamente al avance del sondeo. La retracción de las tuberías una vez contenidas las inestabilidades, se realizará según se equipa el sondeo y se rellena el espacio anular.

4.4.2. Tuberías

La instalación de tuberías se ajustará a lo especificado en los demás documentos del Proyecto en cuestión, así como a las instrucciones que dicte al efecto el Director de la Obra.

Antes de situar los tubos, se examinarán los que presenten deterioros. Una vez situados, se examinarán nuevamente para cerciorarse de que su interior queda libre de tierra, piedras, útiles de trabajo, y se realizará su centrado y perfecta alineación.

Las tuberías se mantendrán libres de agua, para ello es buena práctica montar los tubos en sentido ascendente, asegurando el desagüe en los puntos bajos.

Al interrumpirse la colocación de la tubería se evitará su obstrucción y se asegurará su desagüe, procediendo no obstante a examinar con todo cuidado el interior de la tubería

al reanudar el trabajo, por si pudiera haberse introducido algún cuerpo extraño en la misma.

La unión de los tubos se efectuará mediante soldadura por testa o, siempre que lo apruebe la Dirección de Obra, mediante manguito soldado.

La máxima desviación del eje de de la sección transversal de la tubería colocada respecto al especificado en Planos del Proyecto será de 10°.

Una vez instaladas y aprobadas las tuberías se procederá a rellenar por medios manuales el resto de la zanja o sondeo con los materiales especificados en Proyecto. Dicha operación se ejecutará de modo que las tuberías no puedan sufrir daño alguno por el impacto del material de relleno sobre ellas.

El manejo, colocación y soldadura de los tubos de PEAD ha de ser llevado a cabo exclusivamente por personal especializado.

Las piezas de tubería han de ser transportadas en vehículos adecuados, efectuándose la carga y descarga con cuidado, por personal experto, de forma tal que los fardos de tubos no resulten abiertos ni dañados y que durante transporte descansen sobre la totalidad de su longitud.

El almacenaje de las piezas en obra se ha de realizar en un lugar lo más limpio y llano posible con el fin de que las tuberías no se ensucien interiormente y sufran daños ni deformaciones. Hay que evitar que los tubos se aplasten, si se han de apilar unos tubos sobre otros, estos apilamientos no rebasarán el metro de altura. Los fondos de tubos siempre serán almacenados en posición horizontal.

Las conexiones de los tubos de PEAD han de efectuarse según las prescripciones correspondientes, relativas a tuberías conductoras de presión.

El cálculo de las cargas a soportar por los tubos y los espesores de pared se hará en todo caso en función de las condiciones especificadas del proyecto.

Los cambios de dirección en el trazado de la tubería se harán mediante los codos correspondientes.

La calidad de los materiales, tanto tubos como piezas, quedará verificada mediante los correspondientes certificados de haber pasado las pruebas de homologación correspondientes, según las normas UNE, DIN, ASTM, etc.

Además, el Director de Obra, si lo considera oportuno puede pedir la toma de muestras puntuales para efectuar un control de calidad en laboratorio autorizado.

5. ESTADO DE MEDICIONES

ÍNDICE

1. ESTADO DE MEDICIONES.....	3
1.1. Partida 1: Conducciones y válvulas.....	3
1.2. Partida 2: Equipos.	4
1.3. Partida 3: Instrumentos de control.	4
1.4. Partida 4: Elementos de purificación.	4
1.5. Partida 5: Equipos de aprovechamiento.	4

ESTUDIO DE VIABILIDAD PARA LA PRODUCCION DE BIOGAS EN UN VERTEDERO DE RESIDUOS SOLIDOS
URBANOS

1. ESTADO DE MEDICIONES.

El presente documento servirá de punto de partida para la elaboración del presupuesto final del proyecto. Se determinarán tanto las partidas como las unidades que componen cada una de estas.

Las partidas que componen el proyecto son 4:

- Conducciones y válvulas.
- Equipos.
- Instrumentos de control.
- Elementos de purificación.
- Equipos de aprovechamiento.

1.1. Partida 1: Conducciones y válvulas.

Tabla EM1. Partida 1

Elemento	Unidad	Cantidad
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=75 mm. Espesor 5,5 mm.	m	10
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=63 mm. Espesor 4,7 mm.	m	430
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=50 mm. Espesor 3,7 mm.	m	302
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=25 mm. Espesor 2 mm.	m	178
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=25 mm. Espesor 2 mm.	m	131.981
Electroválvula 2/2 de mando asistido y cuerpo de latón. DN=44 mm.	Ud.	12
m2 de Geotextil no tejido formado por 100% poliéster unido mecánicamente mediante agujeteado, colocado sobre el terreno	m2	52.792,40
Goteros autocompensantes Q = 4 l/h	Ud.	13.906
Perforación	m	25

1.2. Partida 2: Equipos.

Tabla EM2. Partida 2

Elemento	Unidad	Cantidad
Electrobomba sumergible, rodete monocanal. GMC4 80-100C DN100 P=3,8 kW	Ud.	4
Acoplamiento de fondo	Ud.	4
Soporte AP-DN10	Ud.	4
Curva de impulsión UG-DN100	Ud.	4
Filtro Disco Manuales Hidro DPR2 2"	Ud.	12

1.3. Partida 3: Instrumentos de control.

Tabla EM3. Partida 3

Elemento	Unidad	Cantidad
Controladores de nivel: Interruptor magnético de nivel con boya. IMN latón CN01200	Ud.	8
Amplificador de contactos Alimentación PSMS 230	Ud.	8
Relé de enclavamiento (paro-marcha) PSPS 230	Ud.	8
Base S3 B	Ud.	8

1.4. Partida 4: Elementos de purificación.

Tabla EM4. Partida 4

Elemento	Unidad	Cantidad
Depósito de carbón activo	Ud.	1

1.5. Partida 5: Equipos de aprovechamiento.

Tabla EM5. Partida 5

Elemento	Unidad	Cantidad
Motogenerador TFNG-700GF	Ud.	7

6. PRESUPUESTO

ÍNDICE

1.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	3
1.1.	PEM parcial	3
1.1.1.	Partida 1	3
1.1.2.	Partida 2	4
1.1.3.	Partida 3	4
1.1.4.	Partida 4	5
1.1.5.	Partida 5	5
1.2.	PEM	5
2.	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA	6
2.1.	PEC parcial	6
3.	PRESUPUESTO TOTAL	6

1. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

1.1. PEM parcial

El Presupuesto de Ejecución de Material es el presupuesto de construcción del proyecto como tal. El presente proyecto, se divide en 4 partidas presupuestarias diferentes.

En los siguientes puntos se exponen las partidas que forman el Presupuesto de Ejecución de Material del presente proyecto.

1.1.1. Partida 1

La Partida 1 contiene las conducciones, válvulas, goteros, perforaciones y geotextil (tabla P1.1).

Tabla P1.1 Conducciones y válvulas.

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio (€/unidad)	Total (€)
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=75 mm. Espesor 5,5 mm.	m	10,00	9,59	65,80
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=63 mm. Espesor 4,7 mm.	m	430,00	7,10	1.014,80
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=50 mm. Espesor 3,7 mm.	m	302,00	4,95	446,96
Tubería de PEAD PN 10 bar DN=25 mm. Espesor 2 mm.	m	132.159,00	1,86	52.863,60
Electroválvula 2/2 de mando asistido y cuerpo de latón. DN=44 mm.	Ud.	12,00	74,42	893,04
Goteros autocompensantes Q = 4 l/h	Ud.	13.906,00	0,25	3.504,16
m ² de Geotextil no tejido formado por 100% poliéster unido mecánicamente mediante agujeteado, colocado sobre el terreno	m ²	52.792	0,90	47.513,16
Perforación	m	25	-	6.205,37
TOTAL				90.325,81

1.1.2. Partida 2

La Partida 2 contiene los equipos de bombeo y los filtros (tabla P1.2).

Tabla P1.2 Equipos.

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio (€/unidad)	Total (€)
Electrobomba sumergible, rodete monocanal. GMC4 80-100C DN100 P=3,8 kW	Ud.	4,00	4.428,00	17.712,00
Acoplamiento de fondo	Ud.	4,00	883,00	3.532,00
Soporte AP-DN10	Ud.	4,00	150,00	600,00
Curva de impulsión UG-DN100	Ud.	4,00	279,00	1.116,00
Filtro Disco Manuales Hidro DPR2 2"	Ud.	12,00	117,25	1.407,00
TOTAL				24.367,00

1.1.3. Partida 3

La Partida 3 contiene los controladores de nivel (tabla P1.3).

Tabla P1.3 Controladores.

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio (€/unidad)	Total (€)
Controladores de nivel: Interruptor magnético de nivel con boya. IMN latón CN01200	Ud.	8,00	68,33	546,64
Amplificador de contactos Alimentación PSMS 230	Ud.	8,00	72,70	581,60
Relé de enclavamiento (paro-marcha) PSPS 230	Ud.	8,00	104,49	835,92
Base S3 B	Ud.	8,00	10,66	85,28
TOTAL				2.049,44

1.1.4. Partida 4

La Partida 4 contiene los equipos de purificación (tabla P1.4).

Tabla P1.4 Conducciones y válvulas.

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio (€/unidad)	Total (€)
Depósito de carbón activo	Ud.	1	1.103,60	1.103,60
TOTAL				1.103,60

1.1.5. Partida 5

La Partida 5 contiene los equipos de aprovechamiento (tabla P1.5).

Tabla P1.5 Aprovechamiento.

Elemento	Unidad	Cantidad	Precio (€/unidad)	Total (€)
Motogenerador TFNG-700GF	Ud.	7,00	22.148,00	155.036,00
TOTAL				155.036,00

1.2. PEM

En la tabla P1.6 se detalla el valor total de cada una de las partidas y se obtiene el PEM total.

Tabla P1.6 PEM

Partida	Coste (€)
Partida 1: Conducciones y válvulas.	308.671,17
Partida 2: Equipos.	24.367,00
Partida 3: Controladores.	2.049,44
Partida 4: Purificación.	1.103,60
Partida 5: Aprovechamiento.	155.036,00
TOTAL	491.227,21

2. PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN POR CONTRATA

2.1. PEC parcial

El presupuesto de Ejecución por Contrata parcial se halla mediante la ecuación (7). El resultado se puede ver en la tabla P2.1.

$$PEC = PEM + Gastos\ generales + Beneficio\ industrial \quad (7)$$

Tabla P2.1 PEC parcial.

Presupuesto de Ejecución Material	491.227,21
Gastos Generales (15% del PEM)	73.684,08
Beneficio industrial (6% del PEM)	29.473,63
Presupuesto de Ejecución por Contrata parcial	594.384,93

3. PRESUPUESTO TOTAL

El Presupuesto de Ejecución por Contrata se calcula añadiendo el valor del I.V.A. (21% actualmente) al valor del Presupuesto de Ejecución por Contrata parcial.

En el caso del presente proyecto es de **SETECIENTOS DIECINUEVE MIL DOSCIENTOS CINCO EUROS CON SETENTA Y SEIS CÉNTIMOS.**