



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO, DESARROLLO E INSALACIÓN DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO EN ZIMBABUE PARA LA CONVERSIÓN DE DESECHOS EN GAS NATURAL

Autor: Rodríguez García, Daniel

Director: Moreno García, Manuel

Madrid

Agosto, 2021

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**DISEÑO, DESARROLLO E INSALACIÓN DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO EN
ZIMBABUE PARA LA CONVERSIÓN DE DESECHOS EN GAS NATURAL**

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2020/2021 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Daniel Rodríguez García Fecha: ...25.../ ...08.../ ...2021...



Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Manuel Moreno García

Fecha: ...25.../ ...08.../ ...2021...





GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO, DESARROLLO E INSALACIÓN DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO EN ZIMBABUE PARA LA CONVERSIÓN DE DESECHOS EN GAS NATURAL

Autor: Rodríguez García, Daniel

Director: Moreno García, Manuel

Madrid

Agosto, 2021

DISEÑO, DESARROLLO E INSTALACIÓN DE UN DIGESTOR ANAERÓBICO EN ZIMBABUE PARA LA CONVERSIÓN DE DESECHOS EN GAS NATURAL

Autor: Rodríguez García, Daniel.

Director: Moreno García, Manuel.

Entidad Colaboradora: ICAI- Universidad Pontificia de Comillas en colaboración con la Fundación de Ingenieros para el Desarrollo de ICAI y organización Child Future Africa

RESUMEN DEL PROYECTO

Este documento narra el diseño, desarrollo e instalación de un digestor anaeróbico en Zimbabwe para la conversión de desechos en gas natural con el fin de sustentar el consumo eléctrico en un Colegio de Formación Profesional en Dotito, Zimbabwe. Este proyecto se ha realizado en colaboración con la ONG *Child Future Africa* junto con la Fundación de Ingenieros para el Desarrollo de ICAI.

La ingeniería desempeña un papel fundamental en el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones a los problemas de la vida cotidiana de cada individuo. Gracias a los continuos avances e innovaciones en el campo de las energías cada vez aparecen formas de obtener energía de forma económica y sostenible. Con este proyecto se pretende adaptar estas nuevas tecnologías de aprovechamiento de residuos a zonas urbanas con menor desarrollo tecnológico, así se utilizarán los conocimientos técnicos desarrollados durante mis estudios para ayudar a los integrantes de colegio a obtener energía limpia por sus propios medios.

El objetivo principal del proyecto es sustentar energéticamente el Colegio de Formación Profesional mediante el uso de gas natural obtenido a partir del aprovechamiento de residuos, concretamente mediante el tratamiento de las aguas residuales del distrito. Para ello el documento esta diferenciado en dos ramas principales.

La primera rama del proyecto detalla el diseño teórico del digestor anaeróbico basado en las condiciones del lugar y muestra de forma detallada la producción de biogás y de otros subproductos que la planta puede realizar.

La planta diseñada tiene capacidad para digerir 122 m³/día de aguas residuales provenientes de los habitantes del distrito de Mount Darwin, obteniendo finalmente de esta una producción de 5,5 – 6,2 m³/día biogás.

Además, de forma adicional se producen dos subproductos, existe una generación de lodos de 0,12 m³/día.

La segunda rama consiste en una guía detalla a cerca de la utilización de los distintos frutos obtenidos de la planta, así como los sistemas necesarios para su uso.

Existen tres productos diferenciados obtenidos del sistema: biogás, lodos y el efluente restante.

1. Biogás: el propósito del proyecto era abastecer el centro de formación profesional del poblado de Dotito, Zimbabwe de combustible sostenible para que fuese capaz de realizar actividades básicas como cocinar, agua caliente o iluminación. La planta es capaz de generar combustible suficiente para la realización de las actividades básicas diarias del centro, obteniendo los siguientes resultados de consumos:

SISTEMA	Tiempo de Uso	Numero total de sistemas	Consumo del sistema	Consumo total diario
Lámpara de gas	8 horas	2 lámparas	0,07 m ³ /hr	1,12 m ³ /día
Cocina de biogás de dos hornillas	0,7 horas	5 pares	0,2 – 0,42 m ³ /hr	0,7 m ³ /día
Calentador de agua	1 hora	1 calentador	2,2 m ³ /hr	2,2 m ³ /día
Total	N/A	N/A	N/A	4,02 m ³ /día

2. Lodos: el subproducto obtenido del lecho inferior del digestor, el cual es rico en carga orgánica, será utilizado como fertilizante en los cultivos del distrito.
3. Afluente final: las aguas salidas del sistema también presentan buenos niveles de carga orgánica y aunque su destino final aún esta por estudiar por el momento servirán de gran utilidad como regadío en los cultivos del distrito.

Por otro lado, los costes totales del proyecto serán de 10.610,00€ (desglose en la tabla inferior) y serán financiados mediante diferentes iniciativas de los integrantes de la Asociación de Ingenieros del ICAI.

Categorías	Coste
Coste de equipamiento de la planta*	10.000 €
Obra Civil	
Preparación del lugar	Voluntarios (SIN COSTE)
Montaje de la estructura	Voluntarios (SIN COSTE)
Coste de los equipos básicos	
Implementos de distribución de biogás	30,00 €
Flujometro	28,99 €
Manómetros	139, 95 €
Filtro desulfurizador	29,88 €
Filtro deshidratador	43,00 €
Lámparas de biogás (x2)	22,00 €
Cocina de biogás (x5)	190,00 €
Calentador de agua (x1)	128,00 €
Generador eléctrico (Opcional)	500,00 €
Coste tecnología, ingeniería y operación	Hecho por mí (SIN COSTE)
TOTAL CAPEX (Sin incluir generador)	10.610,00 €

En definitiva, este documento muestra el mejor sistema de obtención de biogás a partir de un reactor de digestión anaerobia dadas las condiciones del lugar, así como el diseño teórico

de este y la viabilidad del proyecto para suplir las necesidades energéticas que demanda el centro de formación profesional del distrito. Cubriendo no solo los aspectos básicos de la producción de la planta, si no, además, obteniendo un valor real para cada subproducto que esta ofrece.

Palabras clave: Zimbabue, Objetivos de Desarrollo Sostenible, Digestor Anaeróbico, Autoabastecimiento.

DESIGN, DEVELOPMENT, AND INSTALLATION OF AN ANAEROBIC DIGESTER IN ZIMBABWE FOR WASTE TO NATURAL GAS CONVERSION

Author: Rodríguez García, Daniel.

Supervisor: Moreno García, Manuel.

Collaborating Entity: ICAI – Comillas Pontifical University in collaboration with Foundation of Engineers for the Development of ICAI and NGO Child Future Africa

ABSTRACT

This document describes the design, development, and installation of an anaerobic digester in Zimbabwe for the conversion of waste into natural gas to support electricity consumption in a Vocational Training College in Dotito, Zimbabwe. This project has been carried out in collaboration with the NGO Child Future Africa together with the ICAI Engineers for Development Foundation.

Engineering plays a fundamental role in the development of new technologies and solutions to the problems of every individual's daily life. Thanks to the continuous advances and innovations in the field of energy, new ways of obtaining energy in an economical and sustainable way are appearing all the time. This project aims to adapt these new technologies of waste utilization to urban areas with less technological development, so the technical knowledge developed during my studies will be used to help school members to obtain clean energy by their own means.

The main objective of the project is to sustain energetically the Vocational School by using natural gas obtained from the use of waste, specifically through the treatment of wastewater from the district. For this purpose, the document is divided into two main branches.

The first branch of the project details the theoretical design of the anaerobic digester based on site conditions and shows in detail the production of biogas and other by-products that the plant can produce.

The designed plant has the capacity to digest 122 m³/day of wastewater from the inhabitants of the Mount Darwin district, ultimately producing 5.5 - 6.2 m³/day of biogas.

In addition, two by-products are also produced, there is a sludge generation of 0.12 m³/day.

The second branch consists of a detailed guide about the utilization of the different fruits obtained from the plant, as well as the systems necessary for their use.

There are three distinct products obtained from the system: biogas, sludge and the remaining effluent.

1. Biogas: The purpose of the project was to supply the vocational training center in Dotito village, Zimbabwe with sustainable fuel to enable it to carry out basic activities such as cooking, hot water, and lighting. The plant can generate enough fuel to carry out the basic daily activities of the center, obtaining the following consumption results:

SYSTEM	Time of use	Total number of systems	Consumption	Total daily consumption
Biogas lamp	8 hours	2 lamps	0,07 m^3/hr	1,12 m^3/day
Two-burner biogas stove	0,7 hours	5 pairs	0,2 – 0,42 m^3/hr	0,7 m^3/day
Water heater	1 hours	1 heater	2,2 m^3/hr	2,2 m^3/day
<hr/>				
Total	N/A	N/A	N/A	4,02 m^3/day

2. Sludge: the by-product obtained from the lower digester bed, which is rich in organic load, will be used as fertilizer for the district's crops.
3. Final effluent: the water leaving the system also has good levels of organic load and, although its destination has yet to be studied, for the time being it will be very useful for irrigating the district's crops.

On the other hand, the total costs of the project will be 10,610.00 Euros (breakdown in the table below) and will be financed through different initiatives of the members of the Association of Engineers of the ICAI.

Categories	Cost
Cost of plant equipment*	10.000 €
Civil Works	
Site preparation	Volunteers (NO COST)
Assembly of the structure	Volunteers (NO COST)
Cost of basic equipment	
Biogas distribution equipment	30,00 €
Flowmeter	28,99 €
Pressure gauges	139,95 €
Desulfurizing filter	29,88 €
Filter drier	43,00 €
Biogas lamps (x2)	22,00 €
Biogas stove (x5)	190,00 €
Water heater (x1)	128,00 €
Electric generator (Optional)	500,00 €
Cost of technology, engineering, and operation	Done by me (NO COST)
TOTAL CAPEX (excluding generator)	10.610,00 €

In short, this document shows the best system for obtaining biogas from an anaerobic digestion reactor given the site conditions, as well as the theoretical design of this and the feasibility of the project to supply the energy needs demanded by the district's vocational training center. Covering not only the basic aspects of the plant's production, but also obtaining a real value for each by-product it offers.

Key words: Zimbabwe, Sustainable Development, Anaerobic Digester, Self-supply.

Agradecimientos

A mi familia.

A mis amigos.

A los profesores del ICAI.

A todas las personas que durante estos años vinieron a enseñarme algo y se fueron.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	8
1.1 Motivación del proyecto	8
1.2 Objeto del trabajo.....	9
1.3 Principales objetivos	9
1.4 Metodología	10
1.4.1 Análisis del estado de la cuestión y proyectos similares	11
1.4.2 Diseño y dimensionado de la planta	12
1.4.3 Consolidación del proyecto y plan de instrucción local.....	13
Capítulo 2. Investigación contextual	14
2.1 Información general	14
2.2 Geografía y clima.....	15
2.3 Historia de zimbabue.....	17
2.4 Política interior y organización territorial.....	18
2.5 Economía.....	20
2.6 Demografía y sociedad.....	21
2.7 Alimentación.....	22
Capítulo 3. Estado de la cuestión	23
3.1 Localización y situación general.....	23
3.2 Child future africa y proyecto zimbabue.....	23
3.3 Objetivos de desarrollo sostenible	27
3.3.1 Agenda 2030.....	27
3.3.2 Objetivos desarrollo sostenible del proyecto	28
3.4 Proyectos similares.....	32
3.4.1 Digestión de heces y materia orgánica sólida en Lesoto.....	33
3.4.2 Digestión anaeróbica de desechos domésticos en Santa Fe, Argentina	34
3.4.3 Digestión anaeróbica de aguas residuales domesticas en India	37
Capítulo 4. Justificación del sistema.....	39
4.1 Justificación.....	39
4.2 Funcionamiento y análisis de reactores UASB.....	39

Capítulo 5. Diseño de reactor UASB	43
5.1 Total población estimada	43
5.2 Caudal promedio de la planta.....	44
5.3 Diseño del reactor UASB.....	46
5.3.1 Datos iniciales de la planta.....	46
5.3.2 Calculo de la carga media de DQO.....	47
5.3.3 Determinación del tiempo de retención hidráulica.....	47
5.3.4 Volumen total de los reactores.....	48
5.3.5 Número de reactores	49
5.3.6 Altura del reactor	49
5.3.7 Área de cada reactor.....	50
5.3.8 Comprobación del área, volumen y tiempo de retención.....	51
5.3.9 Comprobación de las cargas aplicadas	52
5.3.10 Comprobación de las velocidades superficiales	53
5.3.11 Sistema de distribución del agua residual afluyente	53
5.3.12 Dimensionado de las aperturas para el decantador.....	54
5.3.13 Comprobación de las velocidades a través de las aperturas.....	54
5.3.14 Área superficial del compartimento de decantación.....	55
5.3.15 Comprobación de las tasas de aplicación superficiales en los decantadores	56
5.3.16 Volumen del compartimento de decantación	56
5.4 Producción de biogás en el reactor.....	58
5.4.1 Proceso bioquímico de digestión anaeróbica	58
5.4.2 Estimación de la eficiencia de remonición de DQO.....	61
5.4.3 Estimación de la eficiencia de remonición de DBO	61
5.4.4 Concentraciones de DQO y DBO	61
5.4.5 Producción de metano.....	61
5.4.6 Producción final de biogás	62
5.4.7 Dimensionado de los colectores de gases.....	62
5.5 Bocetos básicos del diseño final del reactor	63
5.6 Producción de lodos en el reactor	64
5.6.1 Producción de lodo	65
5.6.2 Dimensionado del lecho de secado de lodos.....	65
5.7 Mantenimiento básico del reactor	67

Capítulo 6. Análisis de resultados	69
6.1 Uso del biogás como fuente de energía en el distrito.....	69
6.1.1 Sistemas de almacenamiento y distribución.....	71
6.1.2 Análisis de consumos para el colegio de formación profesional en Dotito, Zimbabue..	74
6.2 Uso de lodos como fertilizante.....	78
6.3 Uso del efluente como riego de cultivos	79
Capítulo 7. Estudio económico del proyecto.....	80
7.1 Coste de inversión de capital inicial (CAPEX).....	80
7.2 Fuentes de financiación para la realización del proyecto.....	81
Capítulo 8. conclusiones y trabajos futuros.....	85
Capítulo 9. Bibliografía.....	87

Índice de figuras

Figura 1: Metodología de desarrollo del proyecto. Elaboración propia	10
Figura 2: Primera parte de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.....	11
Figura 3: Segunda parte de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 4: Tercera parte de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.	13
Figura 5: Bandera de Zimbabwe. Fuente: Web Oficial del Gobierno de Zimbabwe.....	14
Figura 6: Situación geográfica de Zimbabwe. Fuente: 'Google Maps'.	15
Figura 7: Situación de la provincia de Mashonaland Central en Zimbabwe. Fuente: Maphill	19
Figura 8: Situación del distrito de Mount Darwin en Mashonaland Central. Fuente: Maphill	19
Figura 9: Child Future Africa	24
Figura 10: Colegio de formación profesional. Fuente: Fundación de Ingenieros ICAI	25
Figura 11: Grifo para la obtención de agua potable.	25
Figura 12: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Naciones Unidas	27
Figura 13: Five Pillars of the UNDS Response. Fuente: Naciones Unidas.....	28
Figura 14: Localización de Lesoto. Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries.....	33
Figura 15: Esquema de la planta en Lesoto. Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries	34
Figura 16: Localización de Emilia, Santa Fe, Argentina. Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries	35
Figura 17: Esquema de la planta en Santa Fe. Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries.	36
Figura 18: Situación geográfica de la India. Fuente: 'Google Maps'.	37
Figura 19: Vista superior y esquemática de un reactor UASB. Fuente: UASB technology for sewage treatment in India	38
Figura 20: Esquema de funcionamiento de un reactor UASB. Fuente: Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas	40

Figura 21: Diseño ejemplo de reactor UASB. Fuente: Tratamiento de aguas residuales municipales en el valle del Cauca.....	41
Figura 22: Proyección del crecimiento poblacional en Mt Darwin a 20 años Elaboración propia.....	44
Figura 23: Dotación litros por segundo a la entrada del sistema. Elaboración propia.	45
<i>Figura 24: Plano en planta del conjunto de reactores (Boceto). Fuente: Elaboración propia</i>	51
Figura 25: Proceso bioquímico de digestión anaeróbica. Fuente: elaboración propia en base al documento manual del biogás.	59
Figura 26: Cortes longitudinal y transversal básicos del reactor UASB (Boceto). Fuente: Elaboración propia.....	63
Figura 27: Lecho de secado de lodos. Fuente: Sustainable Sanitation and Management ...	64
Figura 28: Esquema básico de distribución del biogás. Fuente: Elaboración propia.	71
Figura 29: Colegio de formación profesional. Fuente: Fundación de Ingenieros ICAI	75
Figura 30: Lecho de secado de lodos de biodigestor de carga continua. Fuente: Manual del biogás.....	78
Figura 31: Cartel promocional sorteo benéfico. Fuente: Instagram oficial de Project Zimbabwe (@projectzimbabwe)	82
Figura 32: Cartel promocional torneo pádel benéfico. Fuente: elaboración propia.	83

Índice de tablas

Tabla 1: Información general Zimbabwe. Fuente: Ministerio de Exteriores del gobierno de España & Web Oficial del Gobierno de Zimbabwe	14
Tabla 2: Estructura del PIB de Zimbabwe. Fuente: Elaboración propia con datos de la ONU. Consultado en la URL: http://data.un.org/en/iso/zw.html	21
Tabla 3: Niveles del sistema educativo en Zimbabwe. Fuente: Definición del Modelo Operativo para negocio de productos de valor añadido en un Colegio de Formación Profesional en Dotito, Zimbabwe	30
Tabla 4: Cuota de producción de energía en Zimbabwe. Fuente: Datos Mundial	31
Tabla 5: Datos de entrada el modelo. Elaboración propia.....	46
Tabla 6: Tiempos de retención hidráulica en función de las temperaturas. Fuente: Principios del tratamiento biológico de aguas residuales.	48
Tabla 7: Dimensiones del reactor. Fuente: Elaboración propia.....	50
Tabla 8: Verificaciones de área, volumen y tiempo de retención el sistema. Fuente: Elaboración propia.....	51
Tabla 9: Verificación de las cargas aplicadas. Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida en “Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, Modelación y Diseño”.	52
Tabla 10: Verificación de las velocidades superficiales. Fuente: Elaboración propia	53
Tabla 11: Velocidades superficiales máximas en las aperturas de paso del decantador. Fuente: Principios del tratamiento biológico de aguas residuales.	55
Tabla 12: Velocidades superficiales máximas en el compartimento de decantación. Fuente: Principios del tratamiento biológico de aguas residuales.	56
Tabla 13: Problemas, causas y soluciones básicas en el sistema UASB. Fuente: Elaboración propia a partir de Anaerobic digestion of biowaste in developing countries.	68
Tabla 14: Características del biogás. Fuente: Manual del Biogás.	70
Tabla 15: Descripción y consumo de los equipos básicos del sistema de consumo de biogás para el colegio de formación profesional. Fuente: Manual del Biogás	74

Tabla 16: Resumen de consumos de los sistemas del centro de formación profesional.
Fuente: Elaboración propia..... 77

Tabla 17: Tabla de costes CAPEX del proyecto. Fuente: Elaboración propia..... 81

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo muestro mi motivación principal para realizar este proyecto junto con la ONG *Child Future Africa*, así como los principales objetivos y la metodología empleada para llevarlo a cabo.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

El momento de realizar tu trabajo de fin de grado es el momento en el que decides realizar un documento que resuma todo lo aprendido durante tus años en la carrera. Cuando decidí estudiar Ingeniería Industrial sabía que era un campo con grandes salidas profesionales, pero también sabía que me dotaría de las habilidades necesarias para impulsar por mi mismo un cambio en la sociedad si así me lo propusiese. Es por esto que la mejor forma de demostrar todo lo aprendido considero que es no solo demostrar mis conocimientos técnicos, si no, además, aplicarlos para colaborar de forma activa y directa con la sociedad, poniendo en manifiesto no solo lo aprendido técnicamente si no también los valores adquiridos durante la carrera y que deseo que me acompañen durante toda mi etapa profesional.

Al elegir mi trabajo de fin de grado se me presentó la oportunidad que estaba buscando, poder colaborar con la ONG *Child Future Africa*, la cual lleva trabajando en proyectos sociales con alumnos en el distrito de Dotito, Zimbabue durante varios años. La confianza que me transmitieron los dos tutores Miren y Manuel al reunirme con ellos para hablar de los distintos proyectos me motivó a embarcarme con ellos en la posibilidad de aplicar todos mis conocimientos para generar un cambio en el distrito.

Sin duda mi mayor motivación a la hora de realizar el proyecto es la motivación de poder acudir personalmente al lugar de implantación para dirigir e instruir al personal para que puedan utilizar la planta para autoabastecerse. Este proyecto, además, me motiva especialmente por el componente social que involucra. Por un lado, los alumnos del Colegio de Formación Profesional podrán utilizar la planta como un instrumento extra de aprendizaje, de esta forma serán capaces de introducir en su ámbito académico aspectos técnicos propios de una ingeniería. Por otro lado, de

forma adicional, se apoyará a la producción de energías limpias, lo cual ayuda a las mujeres y niños del distrito a mejorar su salud y estado social, ya que suelen ser los encargados de la producción de energía mediante la quema de carbón.

Este proyecto define todo aquello a lo que aspiro de forma profesional: aplicar mis conocimientos técnicos y habilidades sociales de forma sostenible y responsable para mejorar la calidad de vida de la sociedad.

1.2 OBJETO DEL TRABAJO

El objeto principal del proyecto es el diseño, desarrollo e instalación de un digestor anaeróbico en Zimbabue para la conversión de desechos en gas natural con el fin de sustentar el consumo eléctrico en un Colegio de Formación Profesional en Dotito, Zimbabue. Además, de forma adicional se utilizará el subproducto obtenido de la digestión con fines agrícolas para el aprovechamiento de todos los productos de la planta.

1.3 PRINCIPALES OBJETIVOS

El objetivo principal del proyecto es el desarrollo e instalación de la de la planta de producción de gas natural y el plan de implantación y formación para los estudiantes del Colegio de Formación Profesional. Para ello, se ha desglosado el objeto del trabajo en los siguientes objetivos:

1. Definición del desecho a introducir en la planta, detallando sus valores más específicos, así como el pretratamiento necesario de este.
2. Diseño y dimensionado de la planta de producción de gas natural, adaptando el desarrollo a las necesidades del lugar. Esto incluirá además de forma detallada los costes del proyecto, tanto los de realización de este como su posterior mantenimiento.

3. Desarrollo de un modelo óptimo para la utilización de los diferentes productos obtenidos de la planta y un plan de formación para los integrantes del Colegio para autoabastecerse con los recursos obtenidos de la planta.

1.4 METODOLOGÍA

A continuación, se desarrollará la metodología empleada para la realización del proyecto. Para ello se ha desglosado el proyecto en diferentes etapas las cuales tienen la siguiente estructura:



Figura 1: Metodología de desarrollo del proyecto. Elaboración propia

1.4.1 ANÁLISIS DEL ESTADO DE LA CUESTIÓN Y PROYECTOS SIMILARES



1 Análisis de estado de la cuestión y proyectos similares

Figura 2: Primera parte de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.

Primeramente, se ha realizado un estudio detallado del contexto en el que se va a realizar el proyecto. Se alinean los objetivos de la fundación de ICAI con los de la ONG para llevar a cabo un trabajo que satisfaga en la mayor medida posible las necesidades del lugar.

Se ha comenzado hablando con los tutores y representantes de la organización en Zimbabwe para entender el funcionamiento y las necesidades de la población en la que se va a aplicar el proyecto y ver las distintas formas de abordar un proyecto como este.

La producción de gas a partir de una planta de digestión anaeróbica tiene muchos posibles enfoques ya que son varios los sistemas que son capaces de realizar esta función. Es por esto que se comenzó planteando junto con las diferentes organizaciones si la planta primeramente debía ser alimentada con residuos de comida, etc. O bien, con aguas residuales provenientes del distrito. Ambas alternativas en un primer momento estaban abiertas a elección de finalmente cual podría producir mayores beneficios para la comunidad local.

Una vez alineadas las ambiciones de los diferentes involucrados en el trabajo se procede al estudio de proyectos similares con el fin de poder buscar la mejor alternativa posible basándonos en casos de éxito en geografías y culturas que tengan alguna similitud con la de Zimbabwe.

1.4.2 DISEÑO Y DIMENSIONADO DE LA PLANTA



Figura 3: Segunda parte de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.

El peso del proyecto se centra en el diseño y dimensionado teórico de la planta de tratamiento de residuos para la obtención de gas natural a partir de un proceso de digestión anaerobio.

Para esta sección se buscará en la literatura existente a cerca de los diferentes métodos de cálculo y dimensionado de plantas de digestión anaeróbica para seguir de forma eficiente los pasos hacia el correcto diseño de la planta.

Existen diferentes libros que explican en detalle el proceso que debe de seguirse a la hora de desarrollar este tipo de sistemas de tratamiento. Una vez se haya definido el tipo de planta concreta que se desea diseñar se procede a identificar aquel que muestre de manera más detallada el proceso de dimensionado que debe seguirse para dicha estructura.

1.4.3 CONSOLIDACIÓN DEL PROYECTO Y PLAN DE INSTRUCCIÓN LOCAL

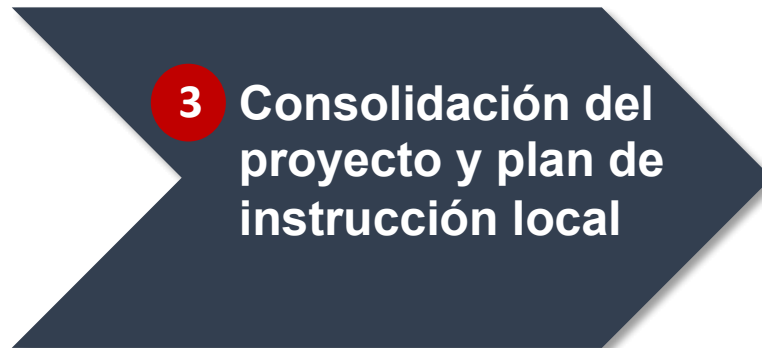


Figura 4: Tercera parte de la metodología empleada. Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, una vez se ha terminado con el dimensionado teórico del prototipo se habrán obtenido los resultados a cerca de la producción final de gas y otros subproductos (si es que los hubiese). Con estos datos entraremos en la última fase del proyecto que será realizar un plan de aprovechamiento para todos los recursos obtenidos de la planta.

El fin principal del proyecto es alimentar de forma limpia el colegio de formación profesional que se encuentra en el poblado de Dotito, Zimbabue. No se descarta que si la producción de gas es suficiente se estudien otras formas de aprovechamiento de este combustible natural. Así como la posibilidad de obtener otros subproductos que puedan servir como valor añadido a otras actividades esenciales que realiza la comunidad.

Por último, se impartirá un plan de instrucción local para que una vez el proyecto haya sido consolidado y construido este pueda continuar con su correcto funcionamiento y viabilidad una vez el equipo de ingenieros del ICAI haya abandonado el lugar.

Capítulo 2. INVESTIGACIÓN CONTEXTUAL

En este capítulo se analizará y se expondrá algunos de los datos básicos de Zimbabue. Se busca entender mejor los aspectos sociales y geográficos en los que se va a desarrollar el proyecto para poder optimizar los recursos e implantar la solución más eficiente.

2.1 INFORMACIÓN GENERAL

Nombre Oficial	República de Zimbabue
Superficie	390.580 km^2
Población	14.65 millones (2019)
Capital	Harare
Idioma	Inglés
Moneda	Dólar Zimbabuense
Religión	Cristiana (~70%)

Tabla 1: Información general Zimbabue. Fuente: Ministerio de Exteriores del gobierno de España & Web Oficial del Gobierno de Zimbabue



Figura 5: Bandera de Zimbabue. Fuente: Web Oficial del Gobierno de Zimbabue

2.2 GEOGRAFÍA Y CLIMA

Zimbabue, o por su nombre oficial, República de Zimbabue, es un país ubicado en el sureste del continente africano, su capital es Harare y sus fronteras limitan con Zambia al norte, Mozambique al este, Botsuana al suroeste y la República Sudafricana al sur. Geográficamente se encuentra situado entre los ríos Zambeze, Limpopo y el Sabi, los cuales forman parte de una de las reservas más importantes de agua de África.

El paisaje bioclimático que domina es la sabana arbolada, con diferentes especies de árboles según la zona. Este bioma divide el territorio de Zimbabue en 7 ecorregiones, que son aquellas zonas que comparten un carácter único de ecología, clima, geomorfología, suelos, hidrología, flora y fauna.



Figura 6: Situación geográfica de Zimbabue. Fuente: 'Google Maps'.

Un 25% del relieve de Zimbabwe se encuentra dominado por la cordillera alta de Veld, cuyas tierras se encuentran en el centro del país alrededor de Bulawayo, Gweru y Harare.

En cuanto a su clima, Zimbabwe cuenta con un clima subtropical. En este se pueden distinguir 3 temporadas principales:

- La temporada que se extiende desde mediados de noviembre a mediados de marzo, que se caracteriza por la alta frecuencia de lluvias y por ser calurosa y húmeda, la cual se ve seguida por un periodo comprendido entre mediados de marzo hasta mediados de mayo en el que las lluvias son menores, pero con las temperaturas son elevadas.
- Una temporada con temperaturas más bajas, con un clima más seco y soleado que se extiende desde mediados de mayo hasta mediados de agosto.
- Y, por último, una temporada con unas temperaturas más elevadas que las anteriores, que se da entre mediados de mayo y mediados de agosto.

Este clima del que goza el país se debe la altitud de este, ya que, como se ha mencionado anteriormente, la mayor parte del territorio está constituido por tierras altas y áreas de elevadas llanuras.

2.3 HISTORIA DE ZIMBABUE

Se cree que los pertenecientes a la tribu san fueron los primeros en habitar el país. Con el paso del tiempo se instalaron los bantúes y los shonas, los cuales descubrieron oro, cobre y estaño. A estas, los siguieron los nguni y zulú.

Con la llegada de los colonos británicos a finales del siglo XIX, el rey ndebele (tribu descendiente de los nguni y zulú) les garantizó la exclusividad de explotación de tierras y recursos mineros a cambio de una compensación económica.

A principios del siglo XX, Zimbabue se convirtió en un estado bajo la administración colonial. Su agricultura y minería de oro fue lo que le convirtió en el segundo país más rico de África.

A mediados de siglo, coincidiendo con el final de la segunda Guerra Mundial, comenzaba la descolonización en África. La independencia de Zimbabue, entonces conocido como Rodesia del Sur, no fue sencilla, ya que Ian Smith ofreció una fuerte oposición a entregar el poder a la mayoría local. Ante la presión internacional, en 1978, firmó con los líderes negros un acuerdo interno, que fue rechazado por los movimientos de liberación y los cuales provocaron que, en 1980, se celebrasen unas elecciones libres que tuvieron como vencedor al líder del movimiento ZANU, Robert Mugabe. El 17 de abril de 1980 el país se independizó y cambio su nombre a Zimbabue.

2.4 POLÍTICA INTERIOR Y ORGANIZACIÓN TERRITORIAL

El Gobierno de Zimbabwe está constituido como una república.

El poder ejecutivo está ejercido por el presidente, el cuál es jefe de Estado, de Gobierno y comandante de las Fuerzas de Defensa. Además, es el presidente el que designa a los miembros del gabinete que serán los que estén a cargo de los ministerios. Actualmente la presidencia se encuentra representada por Emmerson Dambudzo Mnangagwa.

El poder legislativo reside en el Parlamento, que está compuesto por el Senado y la Asamblea Nacional. El Senado está compuesto por 80 senadores, y la Asamblea Nacional por 210 miembros elegidos por votación secreta y 6 mujeres de cada provincia, en total 270 miembros. Según la Constitución de Zimbabwe el Parlamento tiene como deber principal proteger la Constitución y promover un gobierno democrático en el país, además, tiene el poder de asegurar que se mantengan las disposiciones de la Constitución y que el Estado y todas las instituciones del gobierno actúan constitucionalmente y conforme al interés nacional.

El poder judicial está formado la Corte Constitucional, la Corte Suprema, la Corte Alta, el Tribunal Laboral, la Corte Administrativa, los tribunales de magistrados y otros tribunales establecidos por o bajo actuación del Parlamento.

En cuanto a la organización territorial, Zimbabwe está dividido administrativamente en ocho provincias y dos ciudades con estatus de provincia. Las provincias son: Manicalandia, Mashonalandia Oriental, Mashonalandia Occidental, Mashonalandia Central (en la cual se encuentra el distrito de *Mount Darwin*, en el que se centrará el estudio), Masvingo, Matabelelandia Septentrional, Matabelelandia Meridional y Midlands, y las dos ciudades, Bulawayo y Harare.

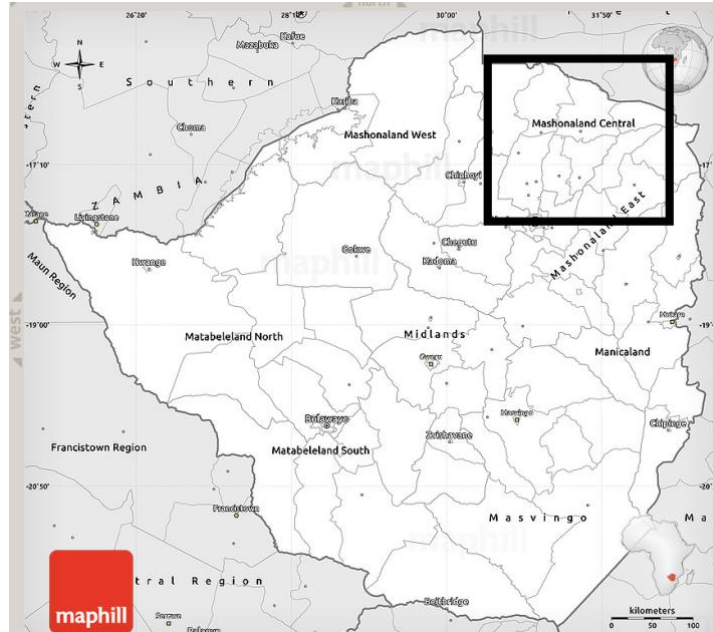


Figura 7: Situación de la provincia de Mashonaland Central en Zimbabwe. Fuente: Maphill



Figura 8: Situación del distrito de Mount Darwin en Mashonaland Central. Fuente: Maphill

2.5 *ECONOMÍA*

En el distrito de *Mount Darwin*, la principal fuente económica es la agricultura, en concreto el cultivo del maíz. A continuación, se detallarán los datos económicos del país en general, ya que no se dispone de más datos sobre el distrito concreto

Como ya se ha comentado anteriormente, hubo un tiempo en el que la economía de Zimbabwe era una de las más prosperas y autónomas de toda África. Sin embargo, la situación actual del país es bien distinta, su crisis económica y alimentaria ha sido descrita como la peor crisis humanitaria desde su independencia. Han sido muchos factores los que han propiciado esta situación, entre ellos, la mala gestión del gobierno, la sequía que azota toda la región y la epidemia del VIH, a lo que actualmente se le ha sumado la pandemia mundial provocada por la Covid-19.

En la actualidad, Zimbabwe sufre una tasa de desempleo cercana al 95% y cerca del 70% de su población viven por debajo del umbral de pobreza, además, en 2018 la inflación del país alcanzó el 31%, la tasa más alta de su historia. Este nivel tan elevado de inflación ha provocado que los ingresos de los trabajadores se vean considerablemente reducidos, además, en el país se utilizan varias divisas, como son el dólar estadounidense y el rand sudafricano entre otros, y muchos trabajadores no disponen de dichas divisas, lo que les impide acceder a productos básicos.

Según el PIB per cápita de Zimbabwe de 2019, que se situó en torno a los 1.176€, sus habitantes tienen un nivel de vida bajísimo.

Los principales sectores del país son el agrícola (que emplea a cerca del 66% de la población) y el minero. Los principales productos que genera el sector agrícola son el tabaco (del que el país es el sexto productor mundial), algodón, caña de azúcar y maíz. En cuanto a su producción minera, aunque el país extrae algunos productos importantes como el oro o el carbón, destaca sobre todo porque en 2019 fue el tercer productor mundial de platino y el sexto de litio.

ESTRUCTURA DEL PIB DE ZIMBABUE (2020)	
Agricultura	11%
Industria	23%
Servicios	66%

Tabla 2: Estructura del PIB de Zimbabwe. Fuente: Elaboración propia con datos de la ONU. Consultado en la URL: <http://data.un.org/en/iso/zw.html>

En cuanto al comercio exterior, el país exportó en 2019 por valor de 4.269 millones de dólares, e importó por valor de 3.500 millones de dólares. Los principales países a los que Zimbabwe exporta son Sudáfrica, los Emiratos Árabes Unidos, Mozambique, la Unión Europea y Zambia. Y los productos que importa, provienen principalmente de Sudáfrica, Singapur, China, la Unión Europea y la India.

2.6 DEMOGRAFÍA Y SOCIEDAD

La población actual concreta del distrito de *Mount Darwin* se desconoce, en 2004 se realizó un censo y se estimó que tenía una población de unos 6.350 habitantes. La población total del país es de 14.645.468 habitantes, y la mayor densidad de población se encuentra en las zonas altas de Veld, alrededor de Harare, Bulawayo y Gweru. La esperanza de vida media del país se situaba en el 2020 entorno a los 62,3 años, el país cuenta con una tasa de natalidad de 33.6 nacimientos por cada 1000 habitantes y una tasa de mortalidad de 9,3 muertes por cada 1000 habitantes.

La mayor parte de la población del país pertenece a la raza negra. El idioma principal es el inglés, aunque se utilizan otras lenguas como el shona y el ndebele. En cuanto a la religión, predomina principalmente el cristianismo, buena parte de la población a pesar de practicar esta religión sigue adhiriéndose a las creencias religiosas locales.

2.7 ALIMENTACIÓN

A continuación, se va a detallar la alimentación, que es quizá el aspecto más importante y la principal motivación de la realización de este proyecto.

Como ya se ha comentado anteriormente, Zimbabwe sufre una crisis alimentaria muy aguda. Según un estudio realizado por la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura), en la provincia de *Mashonaland Central*, en 1994, la insuficiencia ponderal y la emaciación, que es el bajo peso que presentan los humanos debido a un periodo de inanición o enfermedad grave, era más grave que en el resto del país, donde el 21,4% de los niños presentaban retraso en el crecimiento y un 5,5% emaciación.

Además, si esta situación ya era grave, en las últimas décadas ha empeorado. Según diversos estudios esta situación suele darse debido al consumo impropio de alimentos, las pautas desfavorables de la alimentación infantil y la reincidencia de las infecciones y enfermedades que provocan que la población infantil sea más vulnerable a este problema.

A estos problemas, se suma además la falta de micronutrientes, sobre todo de hierro, vitamina A y vitaminas B, que se acentúan en la región en la que se encuentra *Mount Darwin*.

Todo lo detallado anteriormente supone un problema de magnitudes bíblicas, por lo que se considera que este proyecto ayudará de alguna manera a subsanar o disminuir este impacto de la mala alimentación, sobre todo entre la población infantil, y de esta manera mejorar la calidad de vida de la población de Zimbabwe.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 LOCALIZACIÓN Y SITUACIÓN GENERAL

El proyecto se implantará en un Colegio de Formación Profesional en un poblado que se encuentra a 40 km al norte de la capital del distrito de Mount Darwin. En la capital del distrito habitan unos 6000 habitantes.

3.2 CHILD FUTURE AFRICA Y PROYECTO ZIMBABUE

Child Future Africa es una organización sin ánimo de lucro que fue creada por un joven originario de Zimbabwe, George Seremwe, en 2006. Este vivió en el poblado de Dotito, Zimbabwe, durante su juventud y más adelante emigró a Europa a completar su formación en negocios.

Una vez finalizó sus estudios en Europa regresó a su país, tras haber observado la calidad de vida fuera de Zimbabwe y contrastarlo con la situación en la que vivían sus compatriotas decidió emprender un camino hacia el cambio invirtiendo todos sus ahorros en un centro para albergar turistas y así poder comenzar a financiar diferentes proyectos para promover un cambio en la calidad de vida de los habitantes de la región.

Una vez obtuvo suficientes ahorros del negocio inicial comenzó a destinar el 15% de los ingresos del centro para turistas en crear y gestionar la ONG Child Future Africa que se inauguró con un proyecto para la construcción de una casa de acogida para niños huérfanos cerca de la capital de Mount Darwin. La casa de acogida contaba con un pequeño huerto para que los integrantes del centro pudiesen autoabastecerse y otros servicios básicos como luz y agua. Los niños, además, cuentan con el cuidado constante de profesionales que se encuentran en el centro y se les imparten clases. Ambas iniciativas combinadas, las actividades agropecuarias y la educación, dibujan el modelo de negocio auto sostenible de este centro, de modo que, a través del aprendizaje de labores de agricultura, ganadería y cuidado de la casa, también se obtienen ingresos a través del negocio de venta de frutas y verduras que permiten que el mantenimiento financiero del centro (Hernández Fernández, 2020).



Figura 9: Child Future Africa

La ONG ha desarrollado otras iniciativas en la región, siempre buscando crear infraestructuras que promuevan mejorar la calidad de vida de los habitantes de Mount Darwin, ayudándoles y enseñándoles a crear sus propias comunidades sostenibles.

El principal modelo de este centro es la auto sostenibilidad, de modo que, a través del aprendizaje de labores de agricultura, ganadería y cuidado de la casa, también se obtienen ingresos a través del negocio de venta de frutas y verduras que permiten que el mantenimiento financiero del centro.

El siguiente proyecto de mayor ambición que muestra Child Future Africa, entre otras iniciativas, es la creación de un Centro de Formación Profesional que constará de dos edificios con un área estimada de 60 m². En cada edificio se encontrarán dos clases diferenciadas para poder albergar un total de 150 – 200 alumnos. Además, la organización trabaja en varias iniciativas para equipar de las instalaciones básicas necesarias al centro (instalaciones fotovoltaicas, implantación de sistemas de aprovisionamiento de agua o sistemas de implantación de biogás).



Figura 10: Colegio de formación profesional. Fuente: Fundación de Ingenieros ICAI

Además, este año 2021 a pesar de las dificultades debido a la pandemia se ha realizado una canalización de aguas para que el poblado pueda tener acceso más fácilmente al agua de los tanques del pozo mediante un grifo.



Figura 11: Grifo para la obtención de agua potable.

Los Trabajos de Final de Grado de la Fundación de Ingenieros ICAI junto con la ONG Child Future Africa tienen un doble propósito: por un lado, el alumno demuestra los conocimientos adquiridos durante la carrera y se enfrenta al reto de diseñar un proyecto que tendrá una aplicación real. Y, por otro lado, colaborar en la generación de un cambio en la región de Mount Darwin, ayudando así en gran medida a promover iniciativas sostenibles entre los jóvenes ingenieros.

3.3 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

3.3.1 AGENDA 2030

En 2015, 193 países firmaron por consenso un documento en el que se recogen 17 objetivos con una serie de metas e indicadores para garantizar el bienestar y el desarrollo sostenible de las generaciones futuras. Estos objetivos abarcan todos los ámbitos que se deben tener en cuenta para lograr el completo estado de bienestar de todos, incluyendo puntos como la eliminación de la pobreza, la educación, la igualdad de la mujer, la lucha contra el cambio climático o la defensa del medio ambiente.



Figura 12: Objetivos de desarrollo sostenible. Fuente: Naciones Unidas

3.3.2 OBJETIVOS DESARROLLO SOSTENIBLE DEL PROYECTO

La organización de voluntarios de ICAI junto con la ONG *Child Future África* han realizado diferentes estudios durante sus años de colaboración para adaptar estos objetivos a las necesidades específicas de la región, buscando así la manera de optimizar los recursos y realizar proyectos encaminados a abarcar la mayor cantidad de objetivos de desarrollo sostenible posibles.

Los países en vía de desarrollo han visto agravada su situación tras la pandemia, estos países que ya estaban envueltos en inestabilidad e incertidumbre ahora se ven gravemente impactados por la Covid-19.

La Organización de las Naciones Unidas ha realizado un documento llamado “*A UN framework for the immediate socio-economic response to COVID-19*” que recoge un plan de actuación con puntos prioritarios a atacar a la hora de plantear una recuperación lo más rápida posible para las regiones en vías de desarrollo. (Organización de las Naciones Unidas, 2020)



Figura 13: Five Pillars of the UNDS Response. Fuente: Naciones Unidas

En este proyecto se intentarán capturar algunas de estas iniciativas y se pondrán en práctica a pequeña escala para sumar toda la ayuda que sea posible a esta región, la cual se encontraba ya en una situación precaria antes de la pandemia.

Este proyecto en concreto logra abarcar varios objetivos del plan de respuesta ante la situación de la COVID-19, aunque se centrará en tres de los diecisiete principales:

1. Fin de la pobreza
2. Educación de calidad
3. Energía asequible y no contaminante

3.3.2.1 OBJETIVO 1: Fin de la pobreza

Dotito se encontraba en una situación económica complicada y precaria. Los trabajadores que cuentan con una situación laboral más estable son aquellos contratados por el gobierno, como médicos o funcionarios, y aun así cuentan con unos ingresos muy bajos (unos 100 dolares al mes), siendo estos además los que cuentan con un mayor nivel de estudios. Los que obtienen un mayor nivel de ingresos, sin embargo, son aquellos pequeños autónomos que logran mantener su propio negocio. (Ruiz Díez, 2019)

Este proyecto pretende dar salida a esta segunda parte de la población que busca trabajar de forma autónoma para obtener sus propios ingresos. El sistema se instalará próximo al colegio de formación profesional, el cual ya va encaminado a la educación de la población de Dotito para ser independientes económicamente. Este sistema complejo servirá como motivación y elemento de aprendizaje para los integrantes del colegio.

Los estudiantes podrán ver en detalle el funcionamiento de un sistema de producción de energía eficiente complejo, teniendo así la oportunidad de aprender de él para más adelante o bien realizar su propio sistema en otras regiones comercializando con el conocimiento y la tecnología del sistema o bien, siendo propios operarios de la planta para producir energía tanto para el colegio como para las distintas áreas.

Además, va ligado con el objetivo numero 5 del nuevo plan de acción de la ONU tras la pandemia: “*Social Cohesion and community resilience*”, se vuelve a todo el colegio a aprender y obtener rendimiento de una misma actividad, fomentando así el trabajo en equipo y entre ellos lograr a crear un clima de superación personal y ambición hacia proyectos de transformación energética sostenibles (Organización de las Naciones Unidas, 2020).

3.3.2.2 OBJETIVO 2: *Educación de calidad*

En la región de Dotito, la mayoría de los estudiantes carecen de estudios universitarios, aunque sí existe entorno a un 10% que cuenta con estudios de formación profesional. Es muy significativo ver que casi un 50% de las mujeres abandonan la formación secundaria antes de acabarla, en contraste con apenas un 20% de la población (Ruiz Díez, 2019). Este dato pone de manifiesto la gran desigualdad educativa a nivel de género que existe en el país.

<i>Nivel educativo</i>	<i>Educación Primaria</i>	<i>Educación Secundaria</i>	<i>Formación Profesional</i>	<i>Formación Universitaria</i>
Edades	5-12 años	12-18 años	Acceso con el O-Level	Acceso con el A-Level
Características	Obligatoria	Opcional en los dos últimos años	Fontanería, magisterio, mecánica...	Medicina, derecho, ingeniería, economía..

Tabla 3: Niveles del sistema educativo en Zimbabwe. Fuente: Definición del Modelo Operativo para negocio de productos de valor añadido en un Colegio de Formación Profesional en Dotito, Zimbabwe

Como se ha comentado anteriormente, este proyecto servirá para que los alumnos del colegio de formación profesional desarrollen sus capacidades analíticas, aprendiendo de primera mano como

funciona un verdadero proyecto de ingeniería con una de las fuentes de energía más modernas y con más campo de desarrollo actualmente, el combustible a partir de residuos urbanos.

Este aprendizaje avanzado aportara un gran valor al colegio, ya que los alumnos podrían incluso aprender a dimensionar y construir estos sistemas por su propia cuenta, volviéndose así autónomos y con posibilidad de implantar esta tecnología en diferentes distritos del país.

3.3.2.3 OBJETIVO 3: *Energía asequible y no contaminante*

Zimbabue es un país rico en recursos naturales, tanto fósiles como renovables, tanto es así que es capaz de autoabastecerse, sin embargo, como observamos en la parte inferior (ver figura 4), las energías renovables representan una minoría en la producción energética del país. Excluyendo la energía hidroeléctrica, que combina muchas veces ciclos mixtos de bombeo dependiendo de la energía demandada.

FUENTE DE ENERGÍA	CUOTA EN ZIBABUE
Combustibles fósiles	58%
Energía nuclear	0%
Energía hidroeléctrica	37%
Energías renovables	5%
TOTAL	100%

Tabla 4: Cuota de producción de energía en Zimbabue. Fuente: Datos Mundial

La producción de energía a partir de fuentes renovables representa únicamente el 5% de la producción total de energía del país, un porcentaje muy bajo teniendo en cuenta la cantidad de desechos que producen ya que su actividad económica principal es la agricultura.

Es una excelente oportunidad con este proyecto introducir una nueva forma de obtención de energía limpia a partir de los residuos producidos en los distintos distritos de Zimbabue. De esta

forma podrán comenzar una transición a autoabastecerse de manera eficiente con sistemas energía no contaminante.

Como valor añadido, atenderá al primer objetivo del plan de recuperación de la ONU para países en desarrollo: “*Health first*”, la producción de energía en Dotito se realiza principalmente mediante la quema de carbón, lo cual produce un efecto nocivo en la población local, agravando además los problemas pulmonares junto con la situación de la pandemia. Es vital realizar una transición progresiva hacia la obtención de energía en estos poblados más pequeños para que gocen de una energía limpia y no contaminante, no únicamente para mejorar el impacto medioambiental, si no además para mejorar su calidad de vida y salud.

3.4 PROYECTOS SIMILARES

Las fuentes de energía renovable usando el aprovechamiento de residuos para producir combustible se esta extendiendo en los países en vías de desarrollo por su viabilidad económica y la oportunidad que da a estas regiones de realizar una transición hacia un desarrollo sostenible de sus comunidades.

En este apartado estudiaremos varios proyectos similares en diferentes lugares que, además, nos servirán como base para el desarrollo de nuestro propio proyecto:

1. Digestión de heces y materia orgánica sólida en Lesoto
2. Digestión anaeróbica de desechos domésticos en Santa Fe, Argentina.
3. Digestión anaeróbica de aguas residuales domésticas en India

3.4.1 DIGESTIÓN DE HECES Y MATERIA ORGÁNICA SÓLIDA EN LESOTO

En 2002, la ONG “*Technologies for Economic Development*” se encaminó a desarrollar un sistema de saneamiento de aguas con producción de biogás. Este sistema pretendía resolver uno de los problemas más acuciantes a los que se enfrentan los lugares en vías de desarrollo, la imposibilidad de realizar un vaciado eficiente de las fosas sépticas (Vögeli *et al.*, 2004). Estos sistemas han probado tener un funcionamiento eficiente y económico a la hora de sanear aguas negras domesticas y producir biogás.



Figura 14: Localización de Lesoto. Fuente: *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*

La planta se alimenta principalmente de aguas negras y grises domésticas, procedentes de cuartos, cocinas, lavandería, etc.

El sistema actual se compone de un digestor, el cual recibe las aguas negras, estas son descompuestas de forma paulatina por las bacterias que se encuentran en el interior del sistema produciendo biogás durante la descomposición. El gas producido es almacenado y expulsado según la demanda a través de una válvula de presión.

En la segunda parte del sistema llega el producto sobrante del digestor a un reactor que consta de una serie de cámaras por las que fluye el efluente, pasando por algunos lodos (que contienen bacterias) que se han depositado en el fondo de cada cámara (Vögeli *et al.*, 2004).

Por último, el afluente final llega a una zona de post-tratamiento donde se termina de hacer un filtrado de las aguas de forma física mediante reposado o química.

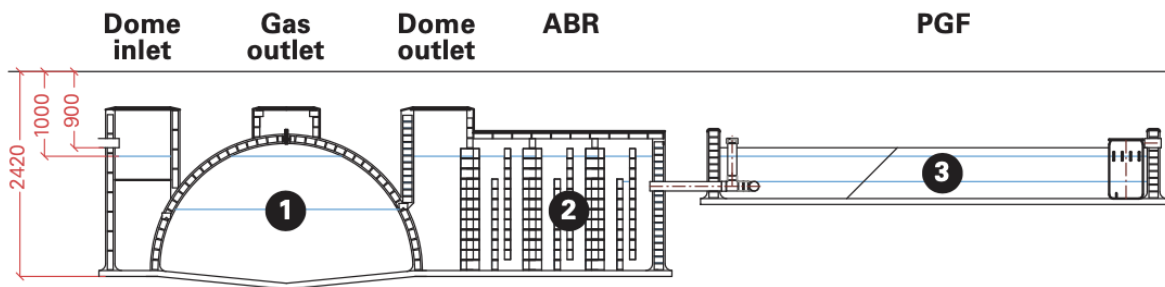


Figura 15: Esquema de la planta en Lesoto. Fuente: *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries*

3.4.2 DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE DESECHOS DOMÉSTICOS EN SANTA FE, ARGENTINA

En 2002, se realizó una planta de tratamiento de residuos domésticos para la Escuela Técnica de Monseñor Zazpe en el municipio de Emilia, Santa Fe. Esta planta procesa material orgánico de la escuela y del centro del municipio (Vögeli *et al.*, 2004).



Figura 16: Localización de Emilia, Santa Fe, Argentina. Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries

La planta se alimenta de los diferentes desechos sólidos que existen en el municipio, desde restos de comida hasta material orgánico proveniente de la ganadería o la agricultura de la región.

La planta tiene una primera fase donde se separan los diferentes desechos en función de aquellos que pueden entrar en la planta o no de forma manual. A continuación, el material orgánico es introducido en una cámara antes de entrar en el digestor. El digestor es alimentado por gravedad y comienza la producción de biogás mediante la descomposición de la materia orgánica con las bacterias que se encuentran en su interior. Este digestor, además, se encuentra parcialmente enterrado para conseguir una temperatura lo más constante posible durante todo el proceso (Vögeli *et al.*, 2004).

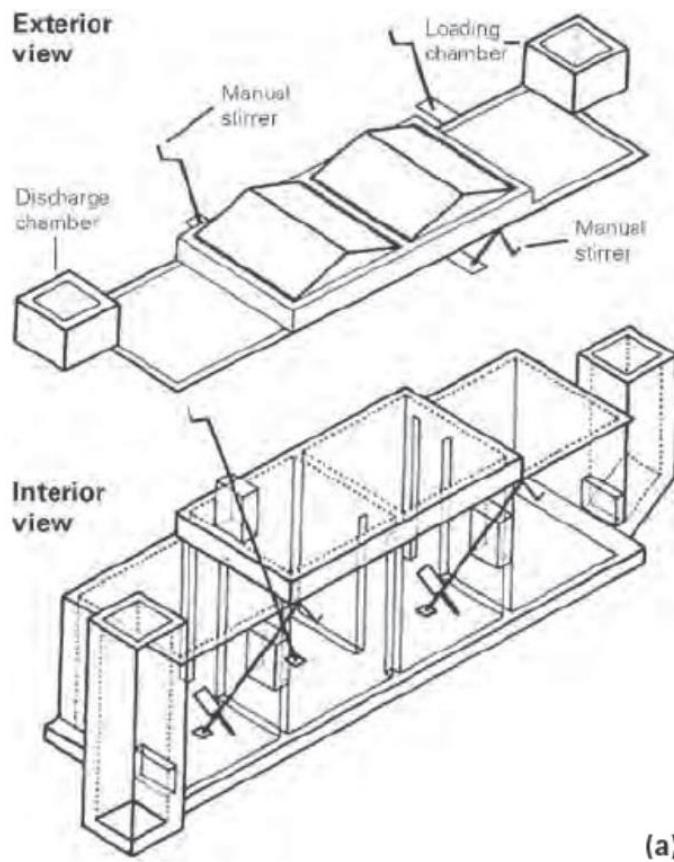


Figura 17: Esquema de la planta en Santa Fe. Fuente: Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries.

3.4.3 DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS EN INDIA

Actualmente, se han construido al rededor de 23 reactores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) han sido construidos alrededor de toda la India para el saneamiento de aguas residuales urbanas y producción de biogás. Este sistema se esta popularizando en la India, siendo esta uno de los países más avanzados en la utilización de este sistema, y en otros países en vías de desarrollo por su diseño económico en comparación con otros tipos de sistemas de saneamiento aerobios y por su gran eficacia (Khalil *et al.*, 2008).



Figura 18: Situación geográfica de la India. Fuente: 'Google Maps'.

El sistema se alimenta de aguas residuales procedentes de diferentes lugares, como casas, lavanderías, industria, etc.

El afluente inicial entra mediante unos tubos directamente a la parte inferior del reactor, este afluente se pone en contacto con los lodos que se encuentran en el fondo del reactor y se produce la digestión anaeróbica. Se produce un flujo combinado ascendente debido a la producción de gas en la parte inferior de este lo cual puede hacer que algunos de los sólidos del lodo lleguen a la parte superior del reactor. Ahí se encuentra un separador trifásico gas – sólido – líquido que impide que entre en la cámara de gases cualquier elemento no deseado (Khalil *et al.*, 2008).

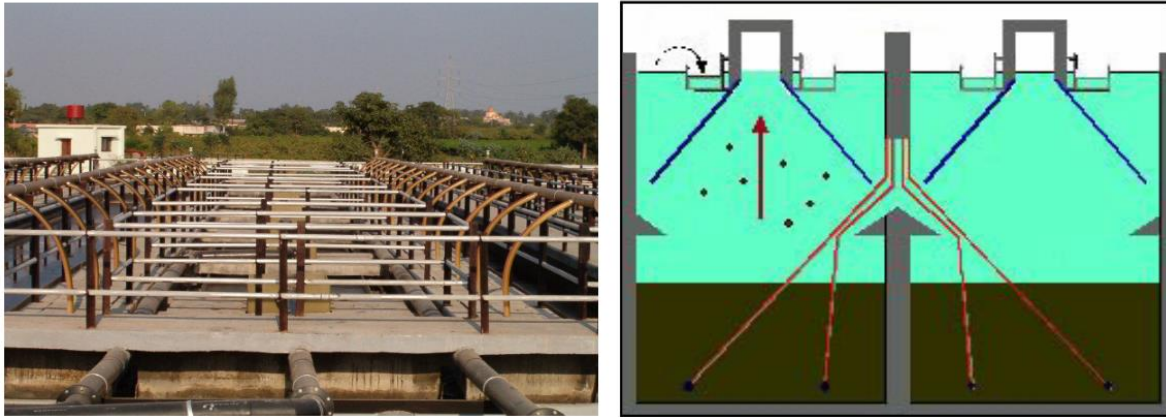


Figura 19: Vista superior y esquemática de un reactor UASB. Fuente: UASB technology for sewage treatment in India

Capítulo 4. JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA

En este capítulo se analizarán las diferentes posibilidades que existen a la hora de desarrollar una planta de producción de biogás mediante el proceso de digestión anaeróbica. Para ello se estudiarán trabajos previos que hayan sido realizados y se valorarán diferentes opciones para tener en cuenta.

4.1 JUSTIFICACIÓN

En el capítulo 3, “Estado de la cuestión”, se analizaron las distintas iniciativas que se están llevando a cabo a través de la ONG Child Future Africa. Se le está prestando especial interés al centro de formación profesional del distrito ya que este es considerado uno de los pilares básicos en el desarrollo de la población del lugar.

Es por este motivo que se buscará el sistema de producción de biogás más acorde con las necesidades del lugar, valorando no solo la capacidad del sistema para producir combustible si no también otras vertientes como el valor añadido para los integrantes del centro y las posibilidades de obtener subproductos del sistema que estén alineados con otras actividades del distrito.

Tras haber analizado anteriormente diferentes trabajos previos de carácter similar al buscado anteriormente se han llegado a una primera hipótesis de que el reactor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), podría ser una solución eficiente al problema energético y de tratamiento de residuos del distrito.

4.2 FUNCIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE REACTORES UASB

Los reactores UASB han probado recientemente tener un gran éxito en el tratamiento de aguas residuales urbanas en lugares en vías de desarrollo, esto es debido a que el coste de construcción, instalación y operación de estos reactores es inferior al de muchos reactores aerobios convencionales, ya que estos no necesitan ningún tipo de equipamiento extra para el control y mantenimiento del proceso (Gómez, Álvarez, Soto, 2005).

En este proceso el agua residual a tratar es introducida por la parte inferior del reactor, esta fluye de forma ascendente a través de un manto de lodos constituido por gránulos o partículas que son formadas biológicamente.

El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y el lodo microbiológico. Los gases producidos en condiciones anaeróbicas, principalmente metano y dióxido de carbono, producen una circulación interior ascendente, la cual colabora en la formación y mantenimiento de los gránulos.

Parte del gas generado dentro del manto de lodos se adhiere a las partículas biológicas, tanto el gas libre como estas partículas siguen un movimiento hacia la parte superior del reactor donde se produce la liberación del gas adherido a las partículas al entrar estas en contacto con unos deflectores.

Las partículas desgasificadas vuelven a caer hasta la parte inferior del reactor mientras que el gas libre y el gas liberado de las partículas se capturan en una bóveda de recogida de gases, la cual está instalada en la parte superior del reactor.

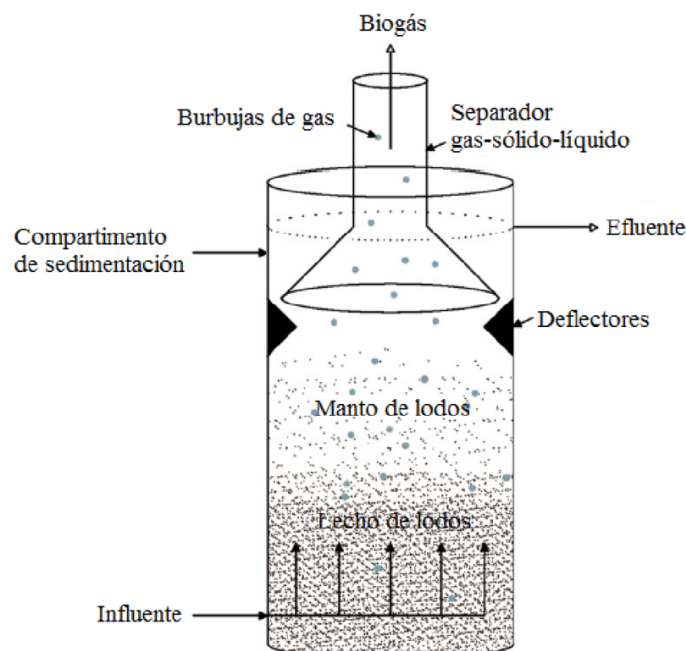


Figura 20: Esquema de funcionamiento de un reactor UASB. Fuente: Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas

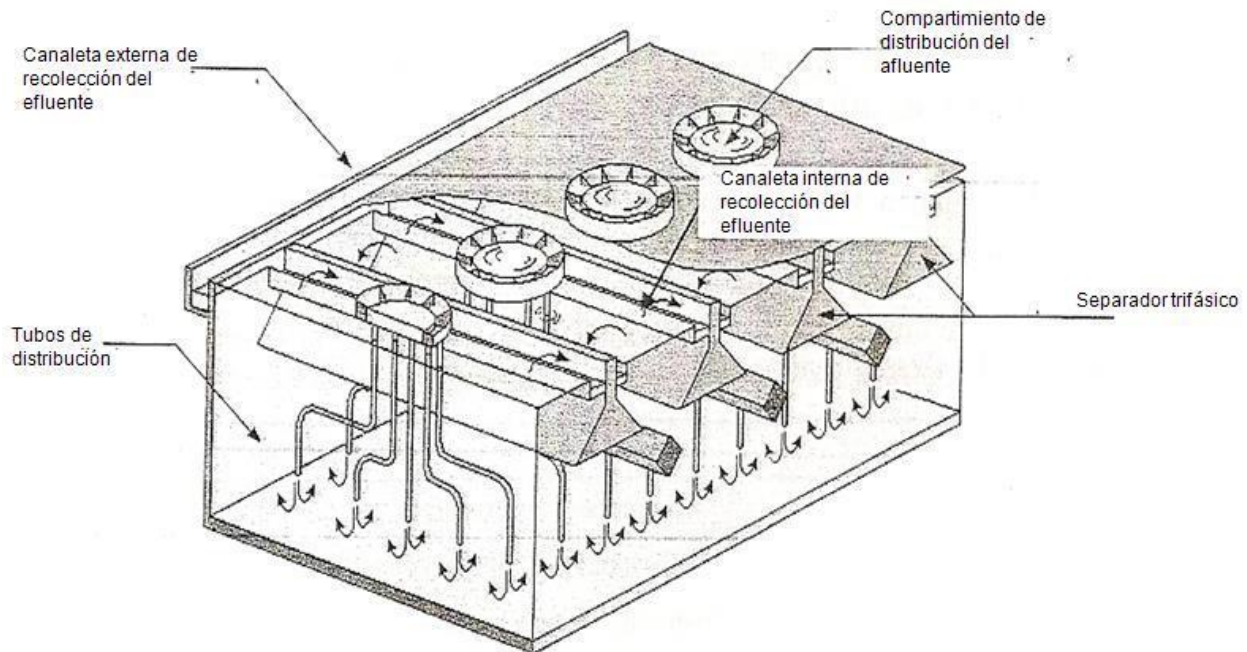


Figura 21: Diseño ejemplo de reactor UASB. Fuente: Tratamiento de aguas residuales municipales en el valle del Cauca

Además, este sistema aporta un subproducto añadido con los lodos que son renovados y desechados, como se ha visto en capítulos anteriores el distrito vive principalmente de la agricultura y es importante alinear las nuevas tecnologías introducidas en la región de forma que la población no lo vea únicamente como un avance en el desarrollo de su calidad de vida, si no que además, para mantenerles motivados a promover este tipo de proyectos e iniciativas, vean que estas iniciativas aportan ventajas en su economía del día a día.

La producción de lodos del sistema, además del efluente final del proceso, como veremos más adelante, pueden ser utilizados para la producción de fertilizantes para sus sistemas de agricultura, lo cual producirá también un abaratamiento en sus costes de producción y se alinea excelentemente con otros proyectos de la organización como el de Cristina Hernández Fernández: *“Definición del Modelo Operativo para negocio de productos de valor añadido en un Colegio de Formación Profesional en Dotito, Zimbabwe”*

Los sistemas UASB han dado una nueva visión al tratamiento de residuos urbanos en términos de diseño, materiales de construcción, mantenimiento y eficiencia. Durante los últimos 20 años esta

tecnología se ha ido popularizando a gran velocidad en países como la India, remarcando los siguientes puntos como claves ventajas de estos sistemas (Khalil *et al.*, 2008):

- Sostenibilidad.
- Cuestiones políticas y aspectos normativos.
- Marco institucional.
- Seguimiento de los activos y formación.
- Aspectos de la calidad del agua

Es por esto que se ha determinado que el diseño y aplicación de un reactor UASB en el distrito de Mnt Darwin, Zimbabue, es una opción coherente con las necesidades del lugar.

Capítulo 5. DISEÑO DE REACTOR UASB

En este capítulo se desarrollará el diseño del reactor UASB para el procesado de aguas negras de la región de Mt Darwin. Se estudiará tras este procesado con un sistema de digestión anaeróbica los posibles usos del combustible obtenido de la planta, así como los posibles usos de los diferentes subproductos.

Los reactores UASB hacen referencia a un sistema de flujo ascendente, de digestión anaeróbica mediante la producción de lecho de lodos.

Todos los cálculos realizados en las páginas sucesivas están realizados siguiendo tres documentos principales a cerca del dimensionado de digestores anaeróbicos: “*Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB)*” (INDITEX, 2015), “*Principios de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales*” (De Lemos, 2013), “*Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, Modelación y Diseño*” (López et al., 2017).

5.1 TOTAL POBLACIÓN ESTIMADA

La población actual de Mt Darwin se desconoce, pero en 2004 se hizo un censo y se estimó que la población era de 6500 habitantes, en total hay 10 millones de habitantes en todo el país. Se realizará un cálculo aproximado de la población futura de la localidad considerando una tasa de crecimiento de 1.68% a 20 años de proyección.

Se usará la siguiente fórmula que corresponde a una proyección aritmética del crecimiento poblacional.

$$Pf = Pa \times \left(1 + \frac{R \times T}{1000}\right)$$

Donde:

Población actual = 6,500 (se tomará este valor dado).
R = 1.68%

$$T = 20 \text{ años}$$

De donde:

$$\text{Población futura} = 6,500 \text{ hab. } (1 + 1.68 \times 20 \text{ años}) / 100$$

$$\text{Población futura} = 6,500 + 2184 \text{ habitantes}$$

$$\text{Población futura} = 8,684 \text{ habitantes.}$$

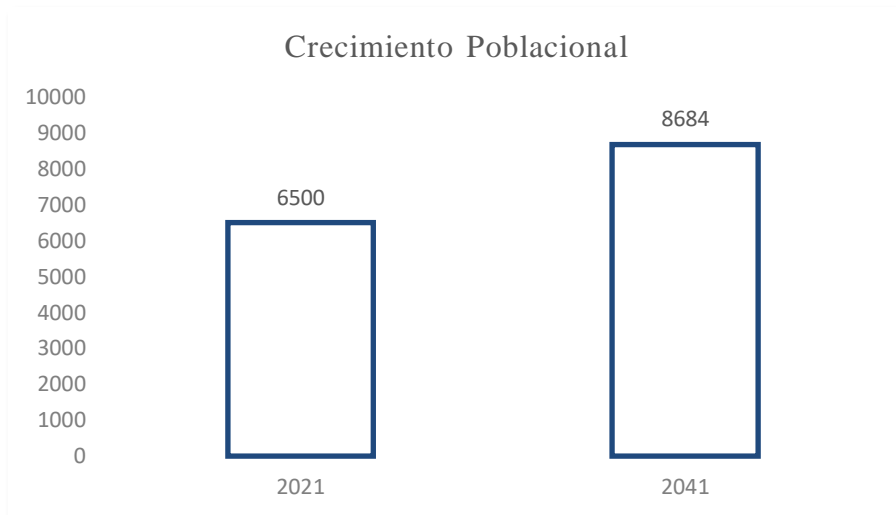


Figura 22: Proyección del crecimiento poblacional en Mt Darwin a 20 años Elaboración propia.

5.2 CAUDAL PROMEDIO DE LA PLANTA

El caudal medio promedio se calcula a partir de las hipótesis básicas de consumo basados en la dotación por habitantes en zona rural de 70 litros/habitante/día, y con un porte al alcantarillado sanitario del 80%.

$$Q_{md} = \frac{\text{Dotación Bruta} \left(\frac{L}{\text{hab}} \times d \right) \times \text{Población (hab)}}{86400}$$

Donde:

$$Q_{md} = \text{Caudal medio diario en litros por segundo.}$$

Dotación	=	70 litros/habitante/día.
Población	=	8,684 habitantes
1 día	=	86,400 segundos
Qmd	=	70 x 8,684 / 86400 litro por segundo
Qmd	=	1.77 lps

Asumiendo un aporte del 80% hacia el alcantarillado

$$Qmd = 1.77 \times 0.80 = 1.42 \text{ litros por segundo.}$$

$$Qmd = 122.30 \text{ m}^3 / \text{día.}$$

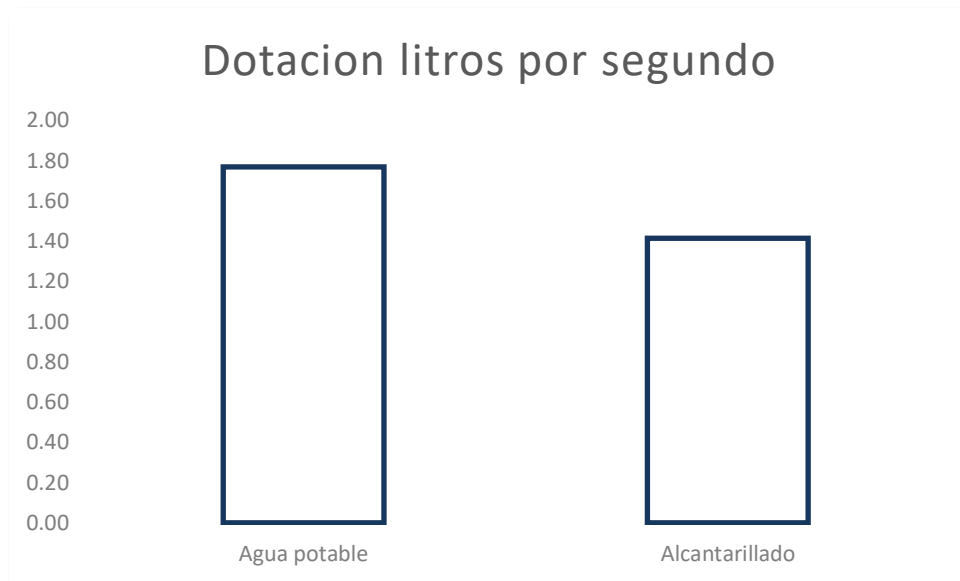


Figura 23: Dotación litros por segundo a la entrada del sistema. Elaboración propia.

5.3 DISEÑO DEL REACTOR UASB

El diseño del sistema tiene que ser dual, es decir, uno en servicio y el otro en operación, alternándolos cada tiempo para su mantenimiento (limpieza de lodos del sistema). Se procederá al cálculo del reactor 1.

5.3.1 DATOS INICIALES DE LA PLANTA

DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

Población de la zona de instalación del sistema	8684	Hab.
Afluente medio	122,3	m ³ /d
Afluente máximo diario	158,9	m ³ /d
Afluente máximo horario	183,4	m ³ /d
Concentración media de DBO afluente al reactor UASB	73,2	mg/L
Concentración media de DQO afluente al reactor UASB	200	mg/L
Temperatura del agua residual	28	°C
Coefficiente de producción de sólidos	0,2	kgSST/kgDQO apl
Coefficiente de producción de sólidos en terminos de DQO	0,21	KgDQO_lodo / KgDQO_apl
Concentración esperada para el lodo de descarte	4%	%
Densidad del lodo	1020	kgSST/m ³

Tabla 5: Datos de entrada el modelo. Elaboración propia

Definición de los datos principales del modelo:

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno que requiere la materia para su descomposición. La materia orgánica que se encuentra en aguas ya sea en aguas naturales o residuales por actividad humana, necesita de la acción del oxígeno para realizar su descomposición. Esta cantidad de oxígeno necesario para poder descomponer esta materia es por lo que se define la DQO, además, es uno de los mayores indicadores de contaminación en aguas, a mayor DQO, mayor carga orgánica en el agua a tratar.

Los datos de entrada del sistema, al desconocer los datos exactos de la región de Mount Darwin en términos específicos de análisis químicos de aguas residuales domésticas de la región. Se han estimado como una primera hipótesis a validar cuando se visite el lugar, estos por el momento toman valores típicos estándar para la caracterización de este tipo de aguas.

Consideraciones generales:

- Se considero factores de corrección de 1.30 como máximo diario y de 1.50 como máximo horario.
- De acuerdo con la caracterización del afluente sanitario se determino que el DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) de 73.20 mg/l
- De acuerdo con la caracterización del afluente sanitario se determinó que el DQO (Demanda Química de Oxígeno) de 200.00 mg/l
- La temperatura del mes más frío de 28°C en la zona de estudio.

5.3.2 CALCULO DE LA CARGA MEDIA DE DQO

La carga media afluente es la relación que existe entre la concentración media de DQO del agua a tratar y el afluente medio el sistema en un periodo de un día, se calcula mediante la siguiente formula:

Cálculo de la carga media afluente de DQO

$$CM_DQO = 0,200 \text{ KgDQO/m}^3 \times \text{Afluente medio diario} = 24,4608 \text{ kg_DQO / día}$$

5.3.3 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA

La determinación del tiempo de retención hidráulica para el diseño de reactores está basada en la siguiente tabla:

Temperatura del Agua Residual (°C)	Tiempo de Retención Hidráulica (h)	
	Q medio	Q max
15 a 18	≥ 10	≥ 7
18.1 a 22	≥ 8	≥ 5,5
22.1 a 25	≥ 7	≥ 4,5
> 25.1	≥ 6	≥ 4

Tabla 6: Tiempos de retención hidráulica en función de las temperaturas. Fuente: Principios del tratamiento biológico de aguas residuales.

La temperatura de agua en los meses más fríos es de 28°C, lo cual sitúa las horas de retención en mayor a 6 horas.

Para el diseño del modelo se han considerado 8,5 horas para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.

Adopción del Tiempo de Retención Hidráulica

Valor asignado para el tiempo de retención = 8,5 horas

5.3.4 VOLUMEN TOTAL DE LOS REACTORES

Para el cálculo del volumen de los reactores no existe una limitación, simplemente se han de tener en cuenta limitaciones constructivas si el dimensionado queda excesivamente grande. Dado que nuestro sistema no es voluminoso debido a que el afluente se podría considerar relativamente bajo, simplemente determinamos el volumen total de los reactores aplicando la siguiente ecuación:

$$V_{total} = Q_{medio} \times \text{tiempo de retención}$$

Obteniendo así que el volumen total del sistema es de 43 m³.

5.3.5 NÚMERO DE REACTORES

El número de reactores requeridos para 43.32 metros cúbicos, en nuestro caso por ser una demanda pequeña dejaremos este volumen como requerimiento único sin dividir.

Además, al buscar la máxima viabilidad del proyecto no se pierde el objetivo principal de realizarlo de la forma más económica y óptima posible.

Esto nos deja con el diseño de un único reactor principal (dos reactores en total por el principio de mantenimiento comentado anteriormente) con un volumen de 43,3 m³.



5.3.6 ALTURA DEL REACTOR

La altura de los reactores de manto de lodo está en función directa del tipo de lodo, de las cargas orgánicas aplicadas y/o cargas hidráulicas volumétricas, que definen las velocidades ascendentes impuestas al sistema, para el tratamiento de aguas residuales domésticas, en reactores que desarrollan predominantemente lodo de tipo floculante, las velocidades ascensionales impuestas al sistema conducen a reactores con alturas útiles entre 4,00 y 5,00 m (De Lemos, 2013):

- Altura de la zona de decantación es de 1,50 a 2,00 m
- Altura de la zona de digestión es de 2,50 a 3,50 m

Se ha determinado una altura del reactor de 4,3 m, dentro de los rangos establecidos, más adelante se realizarán las comprobaciones necesarias para validar si la altura del sistema es correcta.

5.3.7 ÁREA DE CADA REACTOR

El área de los reactores se calculará a partir del volumen total de estos, se obtendrá el área del reactor a partir de la altura estimada anteriormente y a partir de ahí se determinarán las dimensiones totales de este. El reactor tendrá una geometría rectangular.

DIMENSIONES TOTALES DEL REACTOR

Área de cada reactor =	Volumen / altura =	10,1	m ²
Ancho =		2,25	m
Largo =		4,5	m
Verificación =	Ancho x Largo =	10,1	

Tabla 7: Dimensiones del reactor. Fuente: Elaboración propia

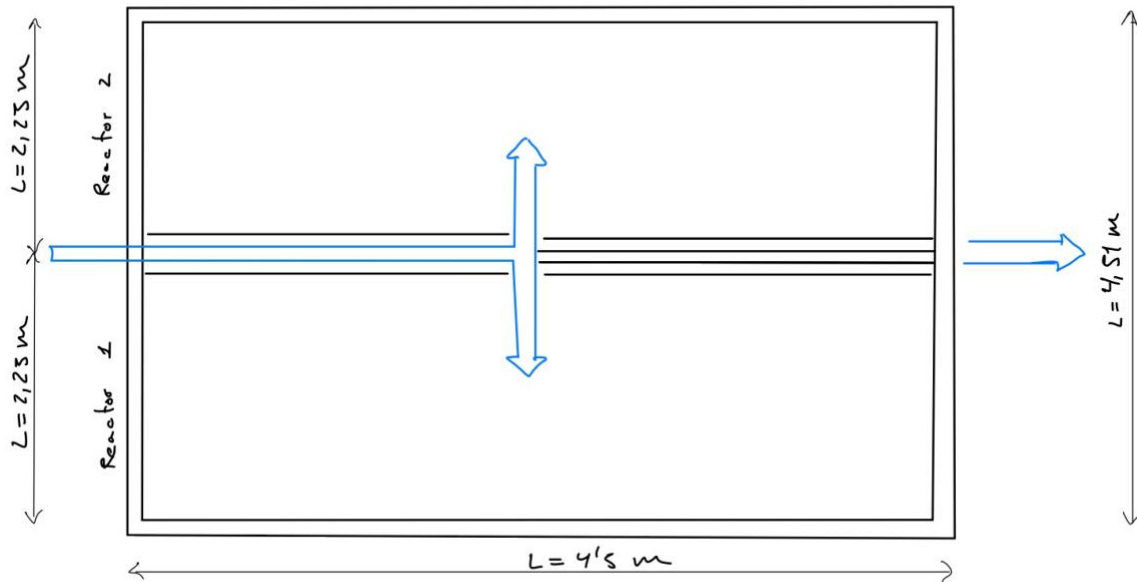


Figura 24: Plano en planta del conjunto de reactores (Boceto). Fuente: Elaboración propia

5.3.8 COMPROBACIÓN DEL ÁREA, VOLUMEN Y TIEMPO DE RETENCIÓN

En base a los cálculos y medidas determinadas anteriormente se realizan de nuevo todos los cálculos a la inversa, partiendo del dimensionamiento del reactor para obtener el tiempo de retención en el sistema. Con ello se pretende comprobar que los ajustes numéricos y las determinaciones de dimensionado siguen alineados con el correcto funcionamiento del aparato.

Verificación de área, volumen y tiempo de retención

Área Total =	Ancho x Largo =	10,12 m ²
Volumen Corregido =	Área Total x H =	43,51 m ³
Tiempo de retención hidráulica final =	Volumen Corregido x Caudal Afluyente medio =	8,54 horas

Tabla 8: Verificaciones de área, volumen y tiempo de retención el sistema. Fuente: Elaboración propia

5.3.9 COMPROBACIÓN DE LAS CARGAS APLICADAS

Carga hidráulica volumétrica

Estudios Experimentales han demostrado que la carga hidráulica volumétrica no debe sobrepasar de 5,0 m³/día, lo que equivale a un tiempo de retención hidráulica mínimo de 4,8 horas (1/5 x 24 horas).

$$CHV = \frac{\text{Caudal}_{\text{medio}}}{\text{volumen}} \quad 2,81 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

Carga orgánica volumétrica

Al tratarse de aguas residuales domesticas, cuya concentración de materia orgánica es relativamente baja la carga orgánica volumétrica aplicada al reactor se sitúa inferior a 3,50 kgDQO/m³

$$COV = \frac{\text{Caudal}_{\text{medio}} \times C_{\text{Media}_{\text{DQO}}}}{\text{volumen}} \quad 0,56 \quad \text{KgDQO/m}^3$$

Tabla 9: Verificación de las cargas aplicadas. Fuente: Elaboración propia en base a información obtenida en “Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, Modelación y Diseño”.

5.3.10 COMPROBACIÓN DE LAS VELOCIDADES SUPERFICIALES

Para el tratamiento de aguas residuales domesticas, se recomiendan las siguientes velocidades de flujo superficial:

Caudal Afluente	Velocidad Superficial (m/h)		
Caudal medio	0.5 a 0.7	0,50	m/h
Caudal Máximo	≤ 1.10	0,65	m/h
Picos temporales*	< 1.50	0,76	m/h

Tabla 10: Verificación de las velocidades superficiales. Fuente: Elaboración propia

Todas las velocidades superficiales se encuentran dentro de los rangos establecidos para un correcto funcionamiento del sistema.

A continuación, se procederá a entrar en mayor detalle a cerca de los componentes internos del reactor, dimensionando tanto los compartimentos de decantación del UASB como los demás elementos como separadores trifásicos o colectores de gases.

5.3.11 SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DEL AGUA RESIDUAL AFLUENTE

Se ha estimado una producción de lodo de tipo denso y flocculento, el cual según la literatura tiene una densidad de 1020 kgSST/m³ y con una carga orgánica aplicada de 0,56 KgDQO/m³día.

El área de influencia por tubo debe estar comprendida entre 0,5 m² y 1 m², para el estudio de nuestro sistema hemos considerado un área de influencia por tubo de 1m². A continuación calculamos el número de tubos que entran en el área total de nuestro reactor mediante la fórmula:

$$N_{tubos} = A_t \times A_{influencia\ por\ tubo} = 10\ \text{tubos de distribución por reactor.}$$

Finalmente adaptamos el número de tubos a la distribución longitudinal del reactor (2,5 x 4,5 m), quedando como resultado cuatro tubos de distribución en el lado mas largo del reactor(4,5m) por dos tubos en el lado mas estrecho (2,5m).

El número total de tubos de distribución tras el ajuste por dimensionamiento es de 8 tubos con un área (siguiendo los cálculos anteriores a la inversa) de 1,3 m².

5.3.12 DIMENSIONADO DE LAS APERTURAS PARA EL DECANTADOR

Se ha estimado un número inicial de dos separadores trifásicos en cada reactor (este número será verificado más adelante) y de la misma manera un ancho de cada apertura simple del decantador de 0,4 m.

El número de aperturas simples en el lado más largo del reactor se puede calcular como el producto del número de separadores por el número de aperturas por separador, lo cual nos da un total de cuatro aperturas simples en el lado más largo del reactor.

El largo de cada apertura en el ancho del decantador por lo tanto serán 1,45 m (2,25 m – 2 x 0,4 m).

En el lado más ancho del decantador (extremos más cortos del separador trifásico) tenemos un separador por dos aperturas por separador lo cual nos da un total de 2 aperturas simples por reactor.

5.3.13 COMPROBACIÓN DE LAS VELOCIDADES A TRAVÉS DE LAS APERTURAS

Se realizan las comprobaciones de velocidades por el paso del decantador para asegurarnos de correcto funcionamiento del sistema en base a datos tabulados:

Caudal Afluyente	Velocidad Superficial (m/h)
Caudal medio	$\leq 2,50$
Caudal Máximo	$\leq 4,00$
Picos temporales*	$< 5,50$

* Picos de caudal con duración máxima de 2 horas

Tabla 11: Velocidades superficiales máximas en las aperturas de paso del decantador. Fuente: Principios del tratamiento biológico de aguas residuales.

- Q_{med} : $V_{ab} = Q_{med} / A_{ab} = \frac{5,096 \frac{m^3}{h}}{5,92 m^2} = 0,86 \frac{m}{h}$ Verificado ✓
- $Q_{max_día}$: $V_{ab} = Q_{max_día} / A_{ab} = \frac{6,62 \frac{m^3}{h}}{5,92 m^2} = 1,12 \frac{m}{h}$ Verificado ✓
- Q_{max_hora} : $V_{ab} = Q_{max_hora} / A_{ab} = \frac{6,62 \frac{m^3}{h}}{5,92 m^2} = 1,12 \frac{m}{h}$ Verificado ✓

5.3.14 ÁREA SUPERFICIAL DEL COMPARTIMENTO DE DECANTACIÓN

Se han adoptado previamente dos compartimentos de decantación por reactor los cuales tienen un largo (localizado en el lado más corto del reactor) de 2,25 m. Formando así un ancho total de decantadores de 4,5 m (2 x 2,25 m).

El ancho de cada colector de gas debe tener unas dimensiones recomendadas comprendidas entre 0,25 m y 0,8 m. Se ha tomado como hipótesis inicial un ancho de los colectores de gas de 0,3 m, tras los cálculos de dimensionado, como se ha realizado previamente, se realizarán las verificaciones necesarias para corroborar la hipótesis.

Para los colectores de gas se ha tomado un ancho de 0,005 m, lo cual nos deja un ancho externo para los colectores de gas de 0,31 m (0,3 + 2 x 0,005 m). Esto nos deja un ancho útil de cada compartimento de decantación en la parte superficial es de 1,94 m.

El área total de decantadores finalmente será de $8,73 m^2$.

5.3.15 COMPROBACIÓN DE LAS TASAS DE APLICACIÓN SUPERFICIALES EN LOS DECANTADORES

Se realizan las comprobaciones de velocidades por el paso del decantador para asegurarnos de correcto funcionamiento del sistema en base a datos tabulados:

Caudal Afluyente	Velocidad Superficial (m/h)
Caudal medio	$\leq 0,8$
Caudal Máximo	$\leq 1,2$
Picos temporales*	$< 1,5$

*Picos de caudal con duración máxima de 2 horas

Tabla 12: Velocidades superficiales máximas en el compartimento de decantación. Fuente: Principios del tratamiento biológico de aguas residuales.

- Q_{med} : $V_{dec} = Q_{med} / A_{dec} = \frac{5,096 \frac{m^3}{h}}{8,73 m^2} = 0,58 \frac{m}{h}$ Verificado ✓
- Q_{max_dia} : $V_{dec} = Q_{max_dia} / A_{dec} = \frac{6,62 \frac{m^3}{h}}{8,73 m^2} = 0,76 \frac{m}{h}$ Verificado ✓
- Q_{max_hora} : $V_{dec} = Q_{max_hora} / A_{dec} = \frac{6,62 \frac{m^3}{h}}{8,73 m^2} = 0,88 \frac{m}{h}$ Verificado ✓

5.3.16 VOLUMEN DEL COMPARTIMENTO DE DECANTACIÓN

Por último, se determinará el volumen de los compartimentos de decantación, la altura de los reactores de manto de lodo es una función directa del tipo de lodo, de las cargas orgánicas aplicadas y/o cargas hidráulicas volumétricas, que definen las velocidades ascendentes impuestas al sistema. Para el tratamiento de aguas residuales domesticas, en reactores que desarrollan predominantemente el lodo de tipo floculento, las velocidades ascensionales impuestas al sistema conducen a reactores con alturas útiles entre 4,00 y 5,00 m (De Lemos, 2013):

- Altura de la zona de decantación es de 1,5 a 2 m
- Altura de la zona de digestión es de 2,5 a 3,5 m

Para el diseño de nuestro reactor se ha determinado una altura de la superficie inclinada de decantación de 1,5. El ancho de la superficie inclinada de decantación es resultado del cálculo:

$$Ancho_{inc} = \frac{Ancho_{dec}}{2} - Ancho\ de\ cada\ apertura\ simple = \frac{1,94\ m}{2} - 0,4\ m = 0,57\ m.$$

La altura de la superficie vertical del compartimento de decantación se le da un valor fijado de 0,3 m.

5.4 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN EL REACTOR

En este apartado se realizarán los cálculos para la obtención de biogás a partir del dimensionamiento y caracterización de las aguas de entrada en el reactor. Más adelante se estudiará el aporte energético y las posibilidades de uso de este biogás obtenido a partir del propio proceso químico de la planta.

5.4.1 PROCESO BIOQUÍMICO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA

“La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores” (Jheremi, 2020, p.5).

Mediante el proceso de digestión anaeróbica es posible transformar gran parte de los residuos procesados, como efluentes en industrias alimentarias o química, en subproductos útiles. Esta digestión permite que hasta un 90% de la energía disponible de la oxidación directa (proceso que veremos más adelante) se convierta en metano, consumiendo únicamente alrededor de un 10% de energía en crecimiento bacteriano (lo cual genera el proceso), sin embargo, en las digestiones aerobias se emplea hasta un 50% de energía en este mismo crecimiento de bacterias.

El proceso anaeróbico se clasifica como fermentación o respiración anaeróbicas dependiendo del tipo de aceptores de electrones.

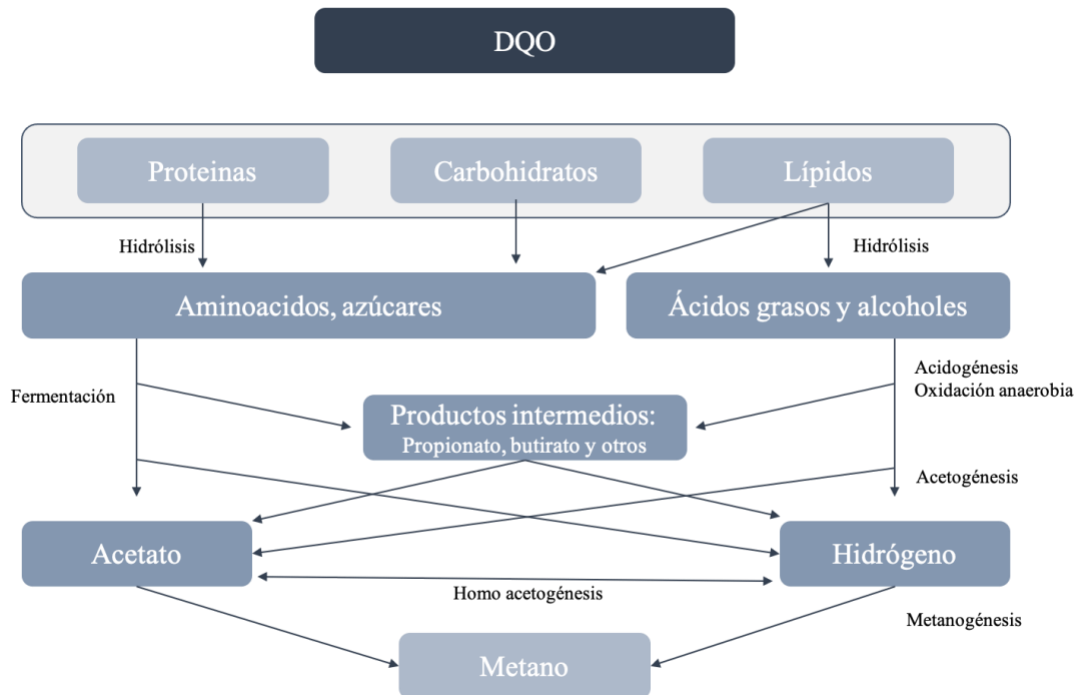


Figura 25: Proceso bioquímico de digestión anaeróbica. Fuente: elaboración propia en base al documento manual del biogás.

1. Hidrólisis y acido-génesis

En esta primera fase aparecen las bacterias hidrolíticas, las cuales degradan la materia orgánica compleja, como carbohidratos, en fracciones mucho más pequeñas de monómeros y azúcares. Estas moléculas simples serán solubles en agua y es en este punto en el que las bacterias fermentativas entran en el proceso.

Las bacterias fermentativas, las cuales se encuentran en gran cantidad, entran en el proceso dividiendo las moléculas disueltas en productos intermediarios, tales como alcoholes (butirano, propionato etc.), provocando así la degradación del sustrato. En consecuencia, pueden beneficiarse energéticamente en un mayor grado que los microorganismos en las etapas siguientes.

La etapa de acido génesis limita el proceso anaerobio cuando los sustratos no son fácilmente hidrolizables; por ejemplo, aquellos con alto contenido de celulosa, pectina, proteínas complejas, lípidos o grasas y lodo estabilizado previamente.

2. Acetogénesis

Posteriormente, el grupo de bacterias aceto-génicas comienzan a actuar, estas transforman los ácidos orgánicos y los alcoholes en acetato y en dióxido de carbono, los cuales se van agregando a los ya producidos.

3. Metanogénesis

En la etapa final del proceso se consume el hidrógeno y el acetato producido, al final de la cadena de degradación se dan dos procesos principales en los reactores:

1. Producción de biogás: Este esta constituido principalmente por el metano producido durante el proceso (70% - 80%) y dióxido de carbono (20%. – 30%).
2. Mantenimiento de una baja presión parcial de hidrógeno y acetato en fase líquida: esto favorece la producción de los propios sustratos al mantener unas buenas condiciones de crecimiento de los microorganismos anaerobios, los cuales son sensibles ante la presencia de inhibidores.

“Los microorganismos metanogénicos pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, siendo, además, los que dan nombre al proceso general de biometanización” (Varnero, 2011, p.22).

5.4.2 ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMONICIÓN DE DQO

Estimación de la eficiencia de remoción de DQO del sistema, de acuerdo con la formula siguiente en función del tiempo de retención t:

$$E_{DQO} = 100 \times (1 - 0,68 \times t^{-0,35}) = 68\%$$

5.4.3 ESTIMACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMONICIÓN DE DBO

Estimación de la Eficiencia de Remoción de DBO del sistema, de acuerdo con la formula siguiente en función del tiempo de retención t:

$$E_{DBO} = 100 \times (1 - 0,70 \times t^{-0,50}) = 77\%$$

5.4.4 CONCENTRACIONES DE DQO Y DBO

Para la estimación de las concentraciones de DQO y DBO finales se tendrán en cuenta las eficiencias de remoción (E) y las concentraciones iniciales S_o :

$$S = S_o - (E \times S_o)/100$$

$$S_{UASB-DQO} = 64 \quad \text{mgDQO/L}$$

$$S_{UASB-DBO} = 17 \quad \text{mgDBO/L}$$

5.4.5 PRODUCCIÓN DE METANO

La determinación de la fracción de DQO convertida en gas metano se puede realizar con la siguiente formula:

$$DQO_{CH_4} = Q_{med} \times (S_o - S)_{kgDQO/m^3} - Y_{obs} \times Q \times S_o \quad 11,5 \quad \text{KgDQO/d}$$

Factor de corrección $f(t)$ para la temperatura operacional del reactor (kgDQO/m³):

$$f_t = (P \times K_{DQO}) / [(R \times 273 + T)] \quad 2,6$$

La conversión de la masa de metano (KgDQO-CH₄/d) en producción volumétrica (m³_CH₄/d) será:

$$Q_{CH_4} = \frac{DQO_{CH_4}}{f(t)} \quad 4,35 \quad \text{m}^3/\text{día}$$

5.4.6 PRODUCCIÓN FINAL DE BIOGÁS

Una vez obtenida la producción teórica de metano, se puede estimar la producción total de Biogás, una mezcla gaseosa que está formada principalmente por metano y dióxido de carbono, a partir del contenido esperado de metano en este, para el tratamiento de aguas residuales domesticas, los contenidos de metano en el Biogás son generalmente del orden de 70 a 80%:

PRODUCCIÓN DIARIA DE [5,4 – 6,2] m³/día DE BIOGÁS EN LA PLANTA

5.4.7 DIMENSIONADO DE LOS COLECTORES DE GASES

La planta contará con dos colectores de gases por reactor los cuales según los cálculos realizados anteriormente tendrán un largo de 0,31 m por colector. En total el largo total de estos colectores abarcará una superficie de 0,62 m.

El ancho de cada colector de la misma manera será de 0,31 m lo que nos dejará un área total para los colectores de gases de 0,19 m².

5.5 BOCETOS BÁSICOS DEL DISEÑO FINAL DEL REACTOR

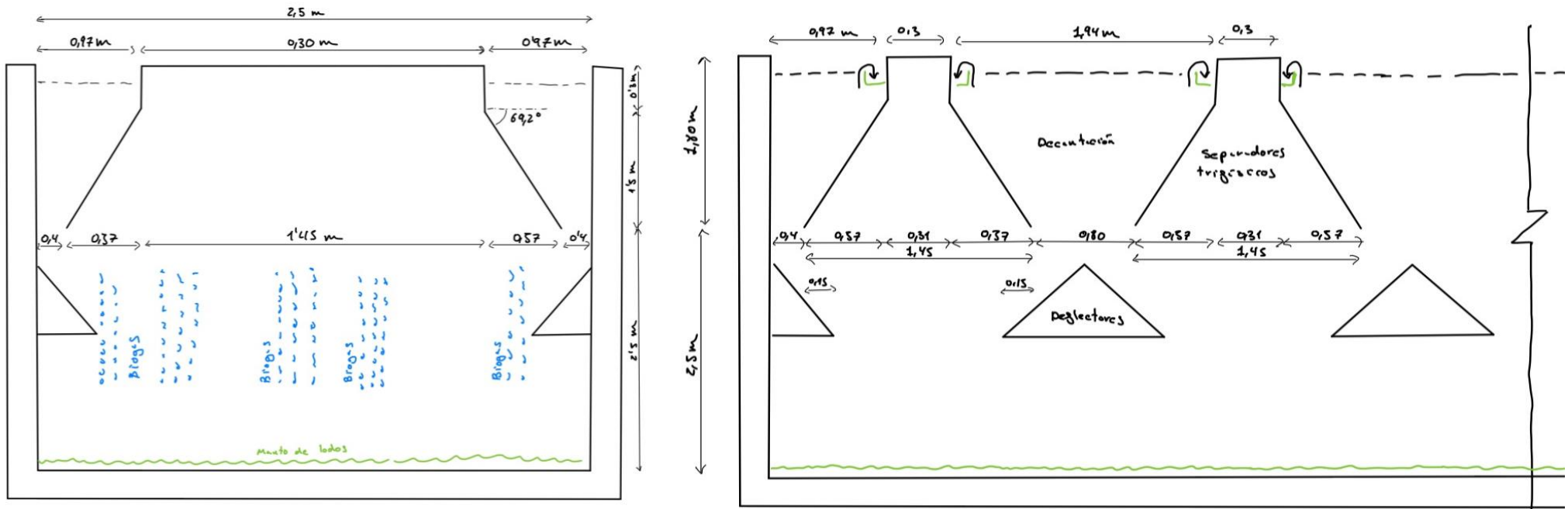


Figura 26: Cortes longitudinal y transversal básicos del reactor UASB (Boceto). Fuente: Elaboración propia

5.6 *PRODUCCIÓN DE LODOS EN EL REACTOR*

Los lodos son materiales ricos en carga orgánica que surgen como resultado del tratamiento de las aguas residuales domésticas dentro del sistema UASB. Estos residuos pueden ser considerados un subproducto del sistema ya que al ser ricos en nutrientes pueden tener utilidad como fertilizantes en tierras de cultivo.



Figura 27: Lecho de secado de lodos. Fuente: Sustainable Sanitation and Management

Este subproducto es importante en la elaboración del proyecto ya que, como hemos citado anteriormente, la agricultura es la mayor actividad económica del país y es necesario alinear la

entrada de nuevos sistemas de producción de energía o de saneamiento de aguas de forma que en la población se vea también un valor añadido en sus actividades cotidianas, esto provocará un incentivo a la hora de mantener estas nuevas tecnologías en correcto mantenimiento y funcionamiento.

5.6.1 PRODUCCIÓN DE LODO

La producción de lodos en el sistema puede ser estimada a partir de las siguientes ecuaciones:

Producción de sólidos en el sistema: $P_{lodo} = Y \times CO_{DQO}$ donde Y se encuentra en los datos de entrada del sistema como el coeficiente de producción de sólidos y CO_{DQO} representa la carga media afluente de DQO.

$$P_{lodo} = 5 \frac{kgSST}{día}$$

La valoración de la producción volumétrica de lodo se puede hacer a partir de la siguiente ecuación: $V_{lodo} = \frac{P_{lodo}}{Y_{lodo} \times C_{lodo}}$ donde Y_{lodo} representa la densidad estimada del lodo como dato de entrada del sistema y C_{lodo} la concentración esperada del lodo de descarte.

Finalmente obtenemos un volumen de producción de lodos de $0,12 \frac{m^3}{día}$, más adelante se estudiarán las diferentes posibilidades que existen a cerca de la utilización de estos lodos como valor añadido a los sistemas de agricultura del distrito.

5.6.2 DIMENSIONADO DEL LECHO DE SECADO DE LODOS

El ciclo de purgado de los lechos de secado tiene una duración de entre 15 – 20 días, para el dimensionado de la planta se han tomado el máximo de días como hipótesis principal, es decir, los lechos estarán 20 días en secado antes de ser removidos.

Durante este periodo la nada de lodo removido de reactores por el ciclo de operación de los lechos se puede calcular como $M_c = P_{lodo} \times tiempo\ de\ secado$, esto nos deja una masa de lodo removido de 98 KgSST.

De la misma manera calculamos el volumen de lodo removido de reactores por el ciclo de operación de lechos: $V_c = V_{lodo} \times tiempo\ de\ secado$, esto nos deja un volumen de lodo removido de $2,4\ m^3$, este volumen será el que habrá que colocar posteriormente en deshidratación y secado.

Le asignamos una altura estándar al lecho de secados de 0,4 m, no es necesario una altura mayor ya que el volumen de lechos es considerablemente pequeño. A continuación, dividimos esta altura por el volumen total de lodo removido que hemos obtenido anteriormente, dejando así un área de lecho de secados de $A_{lecho} = V_c / H_{lecho} = 6\ m^2$, por motivos de comodidad de dimensionado se construirá un lecho cuadrado de 0,4 m de altura y un ancho y largo de 2,5 m.

5.7 MANTENIMIENTO BÁSICO DEL REACTOR

El reactor debe inspeccionarse periódicamente para asegurar que no existe ningún tipo de irregularidad en su sistema, como filtraciones de agua o aire. En los digestores de carga continua, como es el caso de nuestro reactor UASB, se debe vaciar por completo el digestor, retirando el lodo del fondo (Varnero, 2011).

Existen diferentes problemas que pueden surgir durante el funcionamiento del reactor, a continuación, se muestra una tabla (ver tabla 13) con los más comunes, describiendo su posible causa y solución.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCION
Baja producción de biogás	<ul style="list-style-type: none"> • Insuficiente alimentación de sustrato en el sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Añadir más sustrato al reactor
La presión del gas es baja o baja continuamente, aunque el gas no este en uso	<ul style="list-style-type: none"> • Bloqueo en la válvula de gas por los lodos • Pérdidas en la válvula de gas • Posible rotura la estructura del reactor (peor escenario) 	<ul style="list-style-type: none"> • Desconectar la válvula de gas e introducir gas comprimido para destaponar la salida de gas • Revisar la válvula y el tubo de conducción de gas usando jabón y agua, se buscan puntos de perdida de aire • El reactor debe ser vaciado para reparar los daños
La presión del gas funciona correctamente, pero se agota el gas muy rápido	No aplica a nuestro reactor de carga continua	No aplica a nuestro reactor de carga continua

<p>El biogás tiene un mal olor y no es inflamable</p>	<ul style="list-style-type: none"> • El sistema puede tener exceso de acidez (< pH 6) y puede causar inestabilidad en las micro bacterias • Algún compuesto tóxico puede haber introducido accidentalmente en el reactor, inhibiendo alguna de las bacterias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Esperar 2 -3 dias sin añadir efluente y ver si el gas comienza a ser inflamable • Añadir el efluente con abundante zumo de lima para subir el pH y tener un control del pH con un test
<p>El gas no tiene olor y no es inflamable</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mucho aire en la salida del quemador 	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar el anillo de salida de aire de los sistemas de quemado
<p>Llama desigual</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Agua atrapada en la válvula de gas 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la boquilla de salida de gas
<p>Llama considerablemente débil</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Baja presión de gas • La boquilla del quemador es muy pequeña 	<ul style="list-style-type: none"> • Chequear todo lo referente a baja presión de gas • Aumentar el diámetro de la boquilla del quemador
<p>Llama considerablemente fuerte</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La boquilla del quemador es muy grande 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la boquilla del quemador
<p>Llama amarilla (debe ser azul)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La boquilla del quemador es muy grande 	<ul style="list-style-type: none"> • Regular la inyección de aire hasta que se vuelva azul
<p>La llama vuelve a la salida de gas en vez de subir por la boquilla del quemador</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Los puertos de salida de la llama están bloqueados 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar en profundidad los puertos de salida

Tabla 13: Problemas, causas y soluciones básicas en el sistema UASB. Fuente: Elaboración propia a partir de Anaerobic digestion of biowaste in developing countries.

Capítulo 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez se han realizado todos los cálculos de dimensionado y hemos obtenido los resultados de la producción de biogás y lodos en el reactor se analizará el uso que se le dará a ambos productos dentro del poblado de Dotito, Zimbabue para obtener el máximo aprovechamiento de ambos recursos.

6.1 USO DEL BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA EN EL DISTRITO

El biogás producido por la planta se encuentra en un valor teórico de 5,4 a 6,2 $m^3/día$, este biogás tiene como principal propósito alimentar el colegio de formación profesional construido por la ONG *Child Future Africa* en el distrito de Dotito, Zimbabue.

El biogás tiene las siguientes características principales:

Composición	70%-80% metano 20%-30% dióxido de carbono Trazas de otros gases
Contenido Energético	6.0 – 6.5kW h/m ³
Equivalente de combustible	0.6 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6% - 12% de biogás en el aire
Temperatura de Ignición	650 – 750 °C
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C

Densidad normal	1.2 kg/m ³
Masa molar	16.043 kg/kmol

Tabla 14: Características del biogás. Fuente: Manual del Biogás.

Uno de los principales objetivos del estudio del reactor es la posibilidad de utilizar el biogás obtenido en el proceso como fuente de energía para el distrito de Mount Darwin. Con esto se pretende reducir la quema de carbón como principal medio de obtención de energía en la región.

Existen distintas posibilidades de aplicaciones del biogás:

Producción de vapor: es el uso más sencillo que se le puede dar al biogás, se puede utilizar para la obtención de calor en forma de energía térmica. Esta aplicación es muy útil para aplicaciones básicas como cocinar o calentar agua y es muy utilizado en regiones donde los combustibles son escasos (Varnero, 2011).

Generación de electricidad junto con un sistema combinado: estos sistemas utilizan la electricidad generada con el combustible y luego reaprovechan el calor generado en el proceso. También ocurre de forma contraria, los sistemas general calor y el residual es utilizado para la producción de energía eléctrica (Varnero, 2011).

Combustible para vehículos: esta tercera aplicación se basa en el asemejamiento de este elemento gaseoso con el gas natural, aunque es una aplicación que se esta comenzado a popularizar, en nuestro caso no será objeto de estudio ya que no es primordial en la región a estudiar el explotamiento y uso de esta fuente de energía como medio de transporte (Varnero, 2011).

Se pretende utilizar el biogás como fuente de energía para el centro de formación profesional del poblado de Dotito, Zimbabue.

6.1.1 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN

Existen diferentes sistemas de consumo de biogás, para el estudio de nuestro sistema tomaremos los sistemas básicos que necesitaría el colegio para su correcto funcionamiento:

- Luz
- Cocina
- Agua
- Generación de electricidad

Además de los sistemas de consumo de biogás asociados al funcionamiento de los dispositivos citados anteriormente es necesario también disponer de equipo de distribución, purificación y tratamiento del biogás, con el objeto de llevar este producto a los diferentes puntos de consumo y así poder remover contaminantes que pueden estar presentes en la corriente gaseosa (Varnero, 2011).

Un sistema básico con los principales sistemas de consumo y sus correspondientes equipos de distribución podría ser:

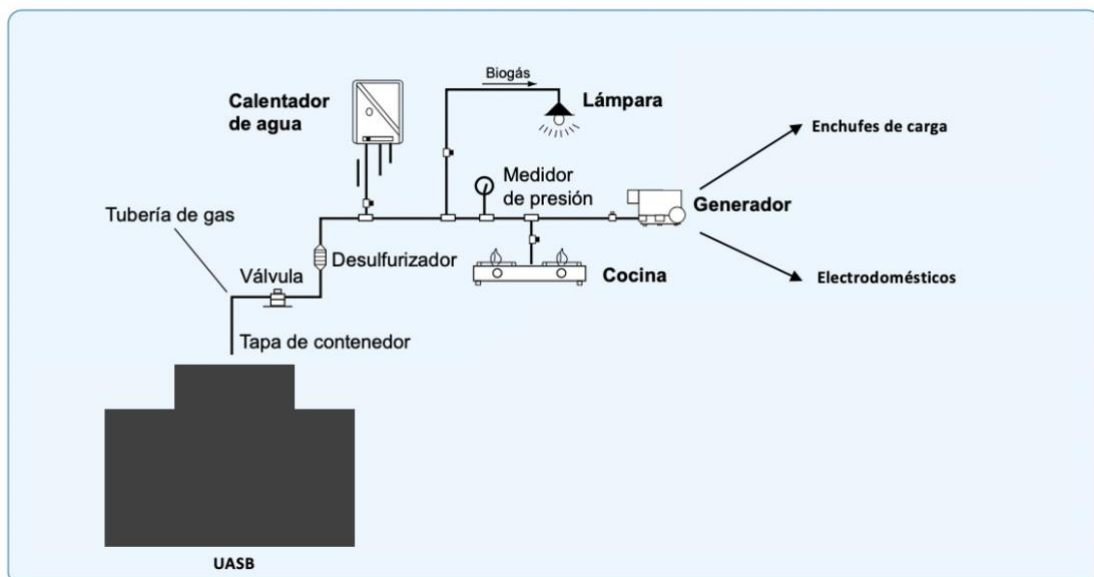


Figura 28: Esquema básico de distribución del biogás. Fuente: Elaboración propia.

Descripción y consumo de los sistemas:

	EQUIPO	DESCRIPCIÓN / CONSUMO
	<p>Implementos de distribución de biogás</p>	<p>Mangueras flexibles, juntas, acoples y válvulas.</p>
	<p>Flujómetro</p>	<p>Permite una medición rápida de volumen de biogás utilizado.</p>
	<p>Manómetro</p>	<p>Permite disponer de una fácil y rápida medición del nivel de presión de la línea de distribución de biogás.</p>



Filtro desulfurizador para planta familiar

Permite la extracción del sulfuro de hidrógeno que es un componente natural del biogás. Es importante la eliminación de este elemento ya que es muy corrosivo y podría dañar los equipos.



Filtro deshidratador

Permite la extracción del vapor de agua que es componente natural del biogás.



Lámpara biogás

Consumo biogás: $0,07 \text{ m}^3/\text{hr}$



Cocina de biogás de dos hornillas

Consumo biogás: $0,2 - 0,42 \text{ m}^3/\text{hr}$



	<p>Generado eléctrico (600 W)</p>	<p>Consumo biogás: 0,7 – 0,8 <i>kWh/hr</i></p>
	<p>Calentador de agua</p>	<p>Consumo biogás: 2,2 <i>m³/hr</i> Presión gas requerida: 1,6 KPa</p>

Tabla 15: Descripción y consumo de los equipos básicos del sistema de consumo de biogás para el colegio de formación profesional. Fuente: Manual del Biogás

6.1.2 ANÁLISIS DE CONSUMOS PARA EL COLEGIO DE FORMACIÓN PROFESIONAL EN DOTITO, ZIMBABUE

Como se ha descrito en el capítulo 3, “Estado de la Cuestión”, el centro de formación profesional cuenta con tres espacios diferenciados que suman un área total estimada de 60 *m²*. El objetivo es que los alumnos encuentren en este centro un segundo hogar en el que puedan formarse y a la vez se les pueda ofrecer otros servicios como comidas, duchas, etc.

Durante todos los cálculos de consumos se ha estimado que el colegio se encuentra al 100% de ocupación (alumnos + personal del centro) durante 8 horas al día y al 5% de ocupación (personal del centro) durante 2 horas más.

El centro contará con 150 – 200 alumnos y 10 personas de personal del centro. Los alumnos se distribuirán entre los dos edificios, los cuales cuentan con dos clases cada uno.



Figura 29: Colegio de formación profesional. Fuente: Fundación de Ingenieros ICAI

Para la iluminación, el centro ya cuenta con una instalación fotovoltaica por lo que no será necesario aprovisionarlo de una gran cantidad de lámparas de gas. Se dispondrán de 2 lámparas para dar soporte a ciertas áreas concretas como posibles espacios de lectura o salas de estudio que requieran iluminación extra. Estas lámparas tendrán un tiempo máximo de uso diario de 8 horas cada una.

La alimentación de los alumnos es otro punto clave en el centro de formación ya que la posibilidad de servir comidas abre la puerta a impulsar que estos vayan a las clases impartidas durante el día. Con las personas con las que contará el centro y la posibilidad de dar una comida principal al día, para alimentar al total de personas se deberá disponer de alrededor de 5 cocinas de biogás de dos hornillas para lograr abastecer de forma eficiente a todos los integrantes del centro.

Para el tiempo de uso de la cocina de biogás se tomará como base el tiempo que tarda en terminar la cocción de unas gachas de maíz blanco, una de las comidas más típicas el Zimbabue (Hernández Fernández, 2020). El tiempo de cocción de este alimento es de 25 minutos. Se tomará por lo tanto para asegurarnos un factor correctivo de un 50% extra del tiempo por lo que finalmente llegamos a que el tiempo de uso de cocina será de 40 minutos.

Por otro lado, el calentador de agua servirá para duchas que podrían tomar los alumnos en el centro tras realizar actividades deportivas. Al ser un sistema con mayor consumo se ha estudiado la posibilidad de que los 200 alumnos (repartidos en 4 clases) alternen entre cinco días de la semana la posibilidad de realizar actividad deportiva y ducharse en el centro. Dejando así un total de 40 alumnos que utilizarán el sistema de calentamiento de aguas de forma diaria.

Se ha estimado que dado que es un recurso limitado las duchas se limitarán a un tiempo de uso de 3 minutos por ducha y que, además, tan solo el 40% decidirán tomar la ducha en el mismo centro, dejando un total de 48 minutos de uso de calentador diario. Una vez más se aplica un factor correctivo para asegurarnos de que el sistema soporta el total del uso dejando un total de 60 minutos de ducha diarios.

El uso del generador se determinará más adelante y vendrá limitado por el combustible sobrante que no se este consumiendo en ninguna de las otras tres actividades básicas del centro.

El resumen de consumos es:

SISTEMA	Tiempo de Uso	Numero total de sistemas	Consumo del sistema	Consumo total diario
Lámpara de gas	8 horas	2 lámparas	0,07 m ³ /hr	1,12 m ³ /día
Cocina de biogás de dos hornillas	0,7 horas	5 pares	0,2 – 0,42 m ³ /hr	0,7 m ³ /día
Calentador de agua	1 hora	1 calentador	2,2 m ³ /hr	2,2 m ³ /día
Total	N/A	N/A	N/A	4,02 m ³ /día

Tabla 16: Resumen de consumos de los sistemas del centro de formación profesional. Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, nos resta un total de alrededor de 2 m³/día de combustible biogás para emplear en el generador, o bien, redistribuirlo en alguno de los sistemas citados en la parte superior si fuese necesario.

En caso de utilizar este biogás en el generador tendríamos la posibilidad de generar 600W de potencia durante aproximadamente 3 horas restantes.

Desde un punto de vista óptimo, este biogás estaría mejor empleado en aumentar el número de lámparas de gas o bien, permitir a más alumnos tomar duchas durante el día ya que la generación de energía eléctrica para recargar dispositivos electrónicos no es una necesidad primordial. También podría utilizarse la energía generada por el generador para encender algún electrodoméstico, como el lavaplatos en cocina.

6.2 USO DE LODOS COMO FERTILIZANTE

A parte del biogás las plantas de digestión anaeróbica nos ofrecen otro tipo de producto: el lodo residual orgánico estabilizado. Este subproducto puede ser utilizado como acondicionador y/o biofertilizante de suelos (Varnero, 2011).

La agricultura es el mayor motor económico en el distrito y es por esto que es un gran valor añadido la posibilidad de obtener productos que puedan ser utilizados en dicha actividad.

Los lodos del biodigestor serán utilizados como biofertilizante en forma líquida (ver figura 30), ya que nuestro digestor es continuo y con un bajo contenido en sólidos totales por ser de aguas domésticas.



Figura 30: Lecho de secado de lodos de biodigestor de carga continua. Fuente: Manual del biogás

Como se ha descrito en el apartado de dimensionamiento cada 20 días se retirará del digestor una cantidad teórica estimada de $2,4 \text{ m}^3$ de lodo que servirán de aporte para las zonas de cultivo del distrito.

6.3 USO DEL EFLUENTE COMO RIEGO DE CULTIVOS

La planta de tratamiento de aguas al terminar el ciclo de digestión no completa el ciclo de potabilización de agua para que esta pueda ser reutilizada para el consumo humano. Es por esto que, con el fin de aprovechar todos los subproductos de la planta se ha valorado también la posibilidad de utilizar esta agua como riego en cultivos hidropónicos, como podrían ser huertas de hortalizas.

Estas aguas con un contenido alrededor del 2% de sólidos totales también presentan buenas características para favorecer el crecimiento de algas o plancton en algún medio acuático (Varnero, 2011). Esto podría ser de gran utilidad una vez se haya desarrollado uno de los proyectos que queda pendientes en el distrito: “*Diseño y desarrollo de una piscifactoría en el distrito de Mnt Darwin, Zimbabue.*”

Capítulo 7. ESTUDIO ECONÓMICO DEL PROYECTO

En este capítulo se estudiará el coste aproximado de diseño del sistema. Además, se analizarán las posibles fuentes de financiación para la construcción de la planta.

7.1 COSTE DE INVERSIÓN DE CAPITAL INICIAL (CAPEX)

El coste de inversión de capital (CAPEX) es el gasto inicial que debe hacerse para que la planta y los equipos básicos comiencen a estar en funcionamiento.

Categorías	Coste
Coste de equipamiento de la planta*	10.000 €
Obra Civil	
Preparación del lugar	Voluntarios (SIN COSTE)
Montaje de la estructura	Voluntarios (SIN COSTE)
Coste de los equipos básicos	
Implementos de distribución de biogás	30,00 € (Fuente: Amazon)
Flujometro	28,99 € (Fuente: Amazon)
Manómetros	139, 95 € (Fuente: Amazon)
Filtro desulfurizador	29,88 € (Fuente: Amazon)
Filtro deshidratador	43,00 € (Fuente: Amazon)
Lámparas de biogás (x2)	22,00 € (Fuente: Alibaba)

Cocina de biogás (x5)	190,00 € (<i>Fuente: Alibaba</i>)
Calentador de agua (x1)	128,00 € (<i>Fuente: Alibaba</i>)
Generador eléctrico (Opcional)	500,00 € (<i>Fuente: Alibaba</i>)
Coste tecnología, ingeniería y operación	Hecho por mi (SIN COSTE)
TOTAL CAPEX (<i>Sin incluir generador</i>)	10.610,00 €

**Estimación hecha en base a regresión lineal directa obteniendo los datos del documento “Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás” (Bermúdez et al., s.f.).*

Tabla 17: Tabla de costes CAPEX del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

7.2 FUENTES DE FINANCIACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

El coste del proyecto tendrá diferentes fuentes de financiación para poder llevarlo a cabo en su totalidad, por un lado, están las iniciativas de los estudiantes que colaboran con la Fundación de Ingenieros ICAI y por otro, se buscarán fuentes externas para poder completar su financiación.

Durante el año académico 2020 – 2021 se llevaron a cabo diferentes iniciativas con el fin de obtener fondos para la realización de los proyectos, en este caso solo dos grandes iniciativas fueron movidas por los estudiantes del ICAI ya que debido a la pandemia se canceló la posibilidad de visitar el país y con esto se frenaron las iniciativas, aunque servirá como base teórica para estudiar el potencial de recaudación de la fundación.

La primera iniciativa que se realizó consistió en un sorteo benéfico invitando a todas las marcas que desearan participar, tanto firmas muy bien posicionadas como pequeñas firmas

que quisiesen colaborar, a donar productos para ser repartidos entre los participantes. Con esta iniciativa las diferentes empresas que participaron obtenían un vehículo de promoción que además contaba con un gran componente social, lo cual le aportaba un gran valor añadido a la publicidad que se les realizaba. La iniciativa logró captar alrededor de 1600€.

SORTEO BENÉFICO



MARCAS COLABORADORAS



COMPRA BIZUM: 622221000 (Andrea Subiza)
673845928 (Carlota Rodríguez)

Figura 31: Cartel promocional sorteo benéfico. Fuente: Instagram oficial de Project Zimbabue (@projectzimbabue)

La segunda iniciativa realizada fue un torneo de pádel benéfico en colaboración con la empresa de gestión de eventos Urban Event, en este torneo participaron un total de 96 personas divididas en dos torneos de 24 parejas. Un torneo de nivel bajo - medio y otro de nivel medio – alto. En el torneo se llegaron a recaudar también alrededor de 1600€.



URBAN EVENT | **PROJECT ZIMBABWE** | **chile future africa**

TORNEO PÁDEL BENÉFICO

FECHA
Sábado 13
Turno 1 - 16:00
Turno 2 - 18:30

CATEGORIAS
Todos los niveles
(Puede ser mixto)

PRECIO
20€ x persona
(Incluye welcome pack)

GARANTÍAS
3 partidos mínimo
Precauciones Covid

SORTEOS & SORPRESAS
Material de pádel,
bolas, grips
y muñequeras

PREMIOS
Paleteros
Camisetas Archipel

Archipel Atelier

DIRECCIÓN
Av. de bularas,1
28224

CONTACTO E INFO
Daniel Rdguez: 608 60 05 89
José Hndez: 659 30 72 85

Figura 32: Cartel promocional torneo pádel benéfico. Fuente: elaboración propia.

Ambas iniciativas fueron realizadas en época de la Covid – 19, por lo que había que cumplir con medidas tanto de higiene como de limitaciones de aforos, distanciamientos sociales, etc. Complicando la posibilidad de obtener beneficios extra como por ejemplo con público en los torneos o haciendo un evento para el día del anuncio de los ganadores del sorteo.

Aún así, vemos que las iniciativas llevadas a cabo arrojan unos buenos números recaudados. Con la realización de 7 torneos de pádel el proyecto estaría totalmente financiado, estos podrían repartirse en los 10 meses que restan de septiembre 2021 a julio 2022.

Capítulo 8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El propósito del proyecto era el diseño teórico de un digestor anaeróbico con el fin de que este proporcionase energía limpia y sostenible al centro de formación profesional que se encuentra en el distrito de Mount Darwin, Zimbabue. Además, este proyecto buscaba crear un impacto positivo en el poblado de Dotito alineando su objetivo no solo con la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas, si no también abarcar los nuevos objetivos fijados por esta organización para ayudar a los países que se encuentran en desarrollo a salir de la crisis de la pandemia de la mejor forma posible.

El proyecto lleva en sí una gran componente técnica y una vez finalizado el trabajo podemos concluir que existe viabilidad a la hora de poder alimentar los sistemas de producción de energía básicos del centro de formación profesional. Este sistema de producción de biogás, a pesar de tener un diseño más complejo y costoso, muestra un camino a seguir para la población del distrito. La posibilidad de abastecer grandes centros con energía limpia sin necesidad de quemar combustibles fósiles muestra como la transición hacia un desarrollo sostenible es una realidad sobre la cual los habitantes del distrito pueden empezar a tomar conciencia.

A parte de la producción de biogás, se han podido obtener otros dos subproductos que aportarán un valor añadido a la principal fuente económica del distrito, la agricultura.

Los lodos producidos en el reactor servirán como fertilizante para los cultivos del poblado y reducirán los costes de producción de estos, pudiendo así obtener un mayor beneficio a la hora de implantar un modelo de negocio en torno a la producción de estos. Por otro lado, las aguas del efluente final también serán utilizadas, haciendo así que el 100% del producto generado en la planta sea aprovechado, su futuro a largo plazo aun esta por determinar, ya que hay varias iniciativas para construir una piscifactoría en el lugar, cuando este este terminado se podría plantear la posibilidad de usar estas aguas aun ricas en carga orgánica

para mejorar las aguas de la piscifactoría. Por el momento, se utilizarán como regadío rico en materia orgánica en los campos de cultivo.

Como trabajo futuro quedaría terminar el diseño de la planta mediante el delineamiento de planos, tanto de la planta como de la obra civil, y decidir el lugar exacto en el que esta planta se debe instalar.

En definitiva, este documento muestra el mejor sistema de obtención de biogás a partir de un reactor de digestión anaerobia dadas las condiciones del lugar, así como el diseño teórico de este y la viabilidad del proyecto para suplir las necesidades energéticas que demanda el centro de formación profesional del distrito. Cubriendo no solo los aspectos básicos de la producción de la planta, si no, además, obteniendo un valor real para cada subproducto que esta ofrece.

Capítulo 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez Rodríguez, J.A., Gómez López, M. & Soto Castiñeira, M. (2005). Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas I: Aplicación de reactores UASB y HUSB de etapa única. Santiago de Compostela (A Coruña).
2. Banco Mundial. (s.f.). Datos económicos de Zimbabwe. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/pais/zimbabwe>
3. Bermúdez, R. C., Rodríguez, S., Martínez, M. C., Terry, A. I. (s.f.). Ventajas del empleo de reactores UASB en el tratamiento de residuales líquidos para la obtención de biogás. Santiago de Cuba (Cuba).
4. Centro de Estudios Internacionales Gilberto Bosques. (2020). República de Zimbabwe Ficha Técnica.
5. Child Future Africa. (2021). Our Projects: Mount Darwin. Obtenido de <http://childfutureafrica.org/>
6. Climas y Viajes. (s.f.). Datos sobre clima en Zimbabwe. Obtenido de <https://www.climasyviajes.com/clima/zimbabwe>
7. De Lemos Chernicharo, C. A. (2013.). Principios de tratamiento biológico de aguas residuales. Brasil. Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG).
8. EcuRed. (s.f.). Información general Zimbabwe. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Zimbabwe>

9. Expansión. (s.f.). Datos macro demográficos Zimbabue. Obtenido de <https://datosmacro.expansion.com/paises/zimbabue#:~:text=Zimbabue%20es%20la%20econom%C3%ADa%20n%C3%BAmero,33%2C63%25%20del%20PIB.&text=Sus%20habitantes%20tienen%20un%20baj%C3%ADsimo,ranking%20de%20PIB%20per%20c%C3%A1pita.>
10. Fundación Ingenieros ICAI. (s.f.). Diseño de proyectos de infraestructuras. Obtenido de <https://fundacioningenierosicai.org/nuestro-trabajo/en-que-estamos-trabajando/diseño-de-proyectos-de-infraestructuras/>
11. Hernández Fernández, C. (2020). Definición del Modelo Operativo para negocio de productos de valor añadido en un Colegio de Formación Profesional en Dotito, Zimbabwe. Madrid.
12. INDITEX. (2015). Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB). Universidad de A Coruña.
13. Jheremi, A. (2005). Propuesta de utilización de cascaras de naranja como recurso energético y biofertilizante aprovechable, para mitigar la congestión de desechos orgánicos en los mercados de Cochabamba.
14. Khalil, N., Sinha, R., Raghav, A. K., Mittal, A. K. (2008). UASB technology for sewage treatment in India: experience, economic evaluation, and its potential in other developing countries.
15. López Vázquez, C. M., Buitrón Méndez, G., García, H. A. & Cervantes Carrillo, F. J. (2017). Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. IWA Publishing.
16. Organización de las Naciones Unidas. (2021). Objetivos de Desarrollo Sostenible 2030. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/development-agenda/>

17. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s.f.). Datos sobre la alimentación. Obtenido de http://www.fao.org/ag/agn/nutrition/nationalpolicies_es.stm
18. Parlzim. (s.f.). Constitución de Zimbabue. Obtenido de https://www.parlzim.gov.zw/images/documents/Constitution-of-Zimbabwe-Amendment_No_20_-_14-05-2013.pdf
19. Ruiz Díez, C. (2019). El biogás como alternativa de desarrollo sostenible en la región de Dotito, Zimbabue. Madrid.
20. StudyCountry. (s.f.). Datos sobre clima en Zimbabue. Obtenido de <https://www.studycountry.com/es/guia-paises/ZW-climate.htm#:~:text=El%20tiempo%20y%20clima%20en%20Zimbabue&text=El%20pa%C3%ADs%20disfruta%20de%20un,ecuador%2C%20en%20la%20regi%C3%B3n%20tropical.&text=El%20verano%20en%20Zimbabue%20dura,es%20de%2030%C2%B0C>.
21. Varnero Moreno, T. (2011). Manual del Biogás. Santiago de Chile.
22. Vögeli, Y., Riu Lohri, C., Gallardo, A., & Zurbrügg, C. (2014). Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries. Dübendorf, Switzerland. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).

