

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA



DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL USO EN ZONAS RURALES DE AREQUIPA

Tesis presentada por:

Corrales Tejada, Manuel Alejandro

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Mecánico

Asesor:

PhD. Celso Antonio Sanga Quiroz

Arequipa - Perú

2022

DEDICATORIA

A mis padres, por brindarme la oportunidad de ser un hombre de bien en la vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por guiar cada uno de mis pasos.

RESUMEN

En las zonas rurales de Arequipa, el costo de vida se ha incrementado dado el alza de los combustibles convencionales por la coyuntura actual en la que se encuentra el país, por otro lado, el índice de enfermedades respiratorias ha crecido principalmente a causa del uso de combustibles provenientes de la biomasa. El presente trabajo de investigación propone el diseño de un biodigestor del tipo tubular para la generación de biogás en el Pedregal - Majes. Se realizaron encuestas en la localidad para obtener el gasto energético en cocción de alimentos. El sustrato empleado para alimentar el reactor fue el de ganado vacuno, los parámetros atmosféricos de entrada fueron considerados para el de la localidad seleccionada. En el diseño se consideró un reactor que produjo 2.0 m³ de biogás por día; un gasómetro de 3.0 m³ de capacidad para almacenaje del biogás; accesorios de PVC y válvulas para el sistema de transporte del fluido; un invernadero que mejoró la producción del biogás en un 6%, este mantuvo el sistema 6°C por encima de la temperatura más baja en la noche, 14°C.

La alimentación del biodigestor fue del tipo manual teniendo un ratio de sustrato – agua de 1: 3; el sistema trabajó en el día a una temperatura de 26°C y por la noche a 20°C, esto aseguró las condiciones de producción. Con respecto a la inversión, el monto inicial estimado fue de S/. 3 899,60, no se consideró dentro de estos costos la mano de obra, este fue por parte del agricultor con el fin de aminorar costos y que se familiarice con el funcionamiento del reactor. Tomando en cuenta 10 periodos y una tasa de descuento del 10%, la valoración económica mostró un VAN de S/. 155,81 y una TIR de 11%.

Palabras clave: biogás, biomasa, biodigestor doméstico, energía renovable, tubular.

ABSTRACT

In rural areas of Arequipa, the cost of living has increased given the rise in conventional fuels due to the current situation in which the country finds itself, on the other hand, the rate of respiratory diseases has grown mainly due to the use of biomass fuels. The present research work proposes the design of a tubular type biodigester for the generation of biogas in the Pedregal - Majes. Surveys were carried out in the locality to obtain the energy expenditure in cooking food. The substrate used to feed the reactor was that of cattle, the input climatic parameters were considered for that of the selected locality. The design expected a reactor that produced 2.0 m³ of biogas per day; a gas holder with a 3.0 m³ capacity for biogas storage; PVC accessories and valves for the fluid transport system; a greenhouse that improved biogas production by 6%, this kept the system 6°C above the lowest temperature at night, 14°C.

The feeding of the biodigester was of the manual type, having a substrate-water ratio of 1:3; the system worked during the day at a temperature of 26°C and at night at 20°C, this ensured the production conditions. Regarding the investment, the estimated initial amount was S/. 3 899.60, labor was not considered within these costs, this was by the farmer in order to reduce costs and to become familiar with the operation of the reactor. Taking into account 10 periods and a discount rate of 10%, the economic valuation showed a NPV of S/. 155.81 and an IRR of 11%.

Keywords: biogas, biomass, domestic biodigester, renewable energy, tubular.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
CAPITULO I	9
GENERALIDADES	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	9
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	10
Problema general.....	11
Problemas específicos.....	11
OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	11
Objetivos generales	11
Objetivos específicos.....	12
JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN	12
Razones que motivan la investigación.....	13
Importancia del tema de investigación	14
ALCANCE Y LIMITACIONES	14
Alcances.....	14
Limitaciones.....	15
VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	15
Variables independientes	15
Variables dependientes	15
Operacionalización de las variables	16
HIPÓTESIS	16
Hipótesis general.....	16

Hipótesis específica	16
MATRIZ DE CONSISTENCIA	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
ESTADO DEL ARTE	19
ANTECEDENTES	26
INDICES DE CRECIMIENTO DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS	33
Producción solar	40
Producción Eólica	41
Producción con biomasa	42
Producción minihidráulica	43
BASES TEÓRICAS	44
HISTORIA DEL BIOGÁS	45
REALIDAD DEL BIOGÁS A NIVEL INTERNACIONAL	50
REALIDAD DEL BIOGÁS A NIVEL NACIONAL	53
PETROLEO EN TIEMPOS DEL COVID 19	56
BIODIGESTORES	59
Concepto de un biodigestor	59
Biodigestores familiares	62
Modelo taiwanés o tubular	62
Modelo chino o de domo fijo	63
BIOGÁS	64
PROCESO DE DIGESTIÓN	66
Digestión anaeróbica	66
Tipos de bacterias	67
Codigestión	69

PARÁMETROS DEL SISTEMA.....	71
Temperatura del sistema y tiempo de retención hidráulico	71
Grado de acidez.....	72
Tipo de sustrato	73
Relación C/N.....	74
Carga diaria.....	75
Volumen del biodigestor.....	76
Dimensionamiento de la zanja	78
Gasómetro	78
Diseño de calefacción solar pasiva.....	79
Red de distribución.....	81
Balance de energía.....	83
CAPITULO III.....	85
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	85
Método de investigación.....	85
Tipo de investigación	85
Nivel de investigación	85
Investigación descriptiva	85
Diseño de investigación.....	86
CAPITULO IV	87
INGENIERÍA DEL DISEÑO.....	87
Ubicación.....	87
Biogás requerido	88
Cantidad de estiércol requerido	90
Carga diaria requerida	93

Volumen del biodigestor	93
Volumen líquido.....	93
Volumen gaseoso	94
Zanja del biodigestor	94
Presión máxima de operación	96
Accesorios de la red de distribución	97
Dimensionamiento de la red de distribución	98
Gasómetro.....	100
Resumen de resultados	101
CAPÍTULO V.....	102
ANÁLISIS PRESUPUESTAL	102
Cálculo del VAN.....	103
Cálculo del TIR.....	104
CONCLUSIONES	105
RECOMENDACIONES	106
BIBLIOGRAFIA	107

CAPITULO I

GENERALIDADES

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad se viene enfrentando una enfermedad que ha causado estragos a nivel mundial, dejando una tasa de mortalidad alta y causando un impacto negativo en la economía de muchos países. La magnitud del impacto es tal que los precios base de las diferentes fuentes de energía convencionales (petróleo, derivados del petróleo, gas natural, etc.) se han visto afectadas; en el Perú el 95.0% de la energía eléctrica generada es producida por los combustibles convencionales, dejando un 5.0% a los recursos energéticos renovables. De aquí nace la importancia de impulsar el crecimiento de los recursos energéticos renovables, dado su bajo costo de producción, su eficiencia y también el impacto ambiental positivo que generan al medio ambiente.

Por otro lado, según las encuestas realizadas por el INEI, el 59.1% de hogares en zonas rurales emplean combustibles convencionales como el gas natural, GLP para cocción de alimentos y el 29.0% utilizan la leña (proveniente de la biomasa) dada el costo y facilidad de adquisición (INEI, 2017).

Dada la problemática, mediante el diseño de un biodigestor tubular para la obtención de biogás, se podría conseguir el reemplazo del uso de los combustibles convencionales, generando un ahorro económico y aminorando el impacto ambiental dado que se suspendería el uso de la leña.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Dada la actividad que se realiza en las zonas rurales de la provincia de Arequipa, el uso de los recursos energéticos convencionales tiene un costo alto en comparación a los ingresos generados por la actividad que se realizan en estas zonas (agricultura y ganadería). El costo para la obtención de estos recursos es mayor en estos tiempos dada la coyuntura en la que se encuentra el país.

El GLP y gas natural se emplean como fuentes de energía térmica, los cuales sirven para la cocción de alimentos, por ende, se utiliza de manera diaria. Como es sabido en estas zonas se dispone de otra fuente energética proveniente de la biomasa (la leña), esta última si bien es de costo muy bajo y funciona de igual manera que los combustibles convencionales, causa también a la larga enfermedades respiratorias tales como enfermedades pulmonares, cataratas, enfermedades respiratorias agudas, lesiones músculo-esqueléticas y en personas gestantes podría causar que el bebé nazca con bajo peso. Todo esto a raíz del contacto directo que se tiene con los productos de la combustión.

Se propone la utilización de recursos energéticos renovables, el diseño de un sistema que sea capaz de generar energía renovable como el biogás, el cual reemplazaría el uso de los combustibles convencionales, así mismo, de manera conservadora se podría aprovechar la biomasa (sub producto resultante de la digestión) como fertilizante orgánico. Se considera diseñar un biodigestor tubular tipo salchicha, el cual sería alimentado por estiércol de ganado vacuno y como producto final se obtendría el biogás. Para los parámetros de diseño se considera como locación el distrito del Pedregal, Majes. El biogás se emplearía principalmente como energía térmica para la cocción de alimentos.

Problema general

Los combustibles convencionales han tenido una variación al alza en el precio base, por lo que sus diferentes costos ya sea en traslado, producción, ventas, etc. son mayores. Por otro lado, los gases resultantes de la combustión contribuyen en gran medida con el calentamiento global, debido a que estos son gases de efecto invernadero (GEI), se requiere emplear un recurso renovable que genere ventaja económica y reduzca el impacto ambiental.

Problemas específicos

- Se tiene una desventaja económica para el empleo de energía convencional en las zonas rurales.
- Sub productos provenientes de la combustión de los combustibles convencionales contribuyen al calentamiento global.
- Como parte de la desventaja económica, el costo de vida de los miembros de los hogares en las zonas rurales es elevado dado el uso de leña como fuente de energía térmica.

OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivos generales

El objetivo general del presente trabajo de investigación es el diseño de un biodigestor tubular para uso en zonas rurales de Arequipa, el cual, mediante la digestión anaeróbica del estiércol proveniente del ganado vacuno existente en estas localidades, produciría biogás como producto final.

Objetivos específicos

- Obtención de los diferentes parámetros de diseño del biodigestor tubular.
- Contribuir con el crecimiento de uso de energías renovables.
- Generar una ventaja económica para los hogares en la localidad del Pedregal – Majes.
- Contribuir ecológicamente con el planeta reduciendo los productos resultantes del uso de combustibles convencionales.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN

En las áreas rurales del Perú, según el INEI, el 29% de la población en zonas rurales utilizan leña para la cocción de alimentos, la ventaja de este combustible proveniente de la biomasa, es su fácil acceso y bajo costo de adquisición. Por otro lado, la desventaja es que los gases provenientes de la combustión ocasionan daños al medio ambiente y enfermedades pulmonares. La inhalación de estos gases causa un estado inflamatorio crónico; en los últimos diez años se han realizado intentos para disminuir la utilización de la biomasa como combustible, empleando en su reemplazo combustibles limpios.

El presente trabajo de investigación propone el diseño de un biodigestor tubular tipo salchicha, el cual mediante digestión anaeróbica permitirá la obtención de biogás como combustible limpio, reemplazando así el uso de la leña (combustible proveniente de la biomasa) y el uso del GLP como fuente de energía térmica. Con este sistema los hogares en las áreas rurales conseguirían una ventaja económica, así como también, beneficios en su salud. Por otro lado, indirectamente se conseguiría un mejor manejo de desechos orgánicos.

De manera conservadora se podría emplear el biol (sub producto resultante de la digestión anaeróbica del estiércol) como fertilizante orgánico para nutrir los suelos de cultivo y de esta forma obtener mejores resultados en la agricultura.

Cabe mencionar que el biogás también se podría emplear en la generación de energía eléctrica y como combustible de alimentación en autos. Sin embargo, esta aplicación del biogás es relevante para futuros trabajos de investigación.

Razones que motivan la investigación

Los recursos energéticos renovables han ido creciendo enormemente en el Perú, tal es así que hoy en día existen centrales solares, de biomasa y mini hidroeléctricas instaladas en todo el país. La energía eólica toma un papel importante también gracias a que el Perú ha invertido en la construcción de parques eólicos, aprovechando de esta forma la energía del viento para convertirla en energía eléctrica; actualmente existen cinco parques eólicos que alcanzan hasta los 132MW de potencia. Estos recursos energéticos son altamente eficientes y rentables, además de ser ecológicamente amigables contribuyendo así con el cuidado del planeta; hoy en día la industrialización ha crecido significativamente haciendo que los gases resultantes provenientes de la actividad que se realiza produzcan el calentamiento de la superficie terrestre.

Por otro lado, el Perú actualmente se encuentra enfrentando una pandemia a causa del virus SARS-COV 2 (COVID 19), dada la agresividad con la que se ha desarrollado esta enfermedad los diferentes dirigentes de cada país han tomado decisiones rigurosas para evitar que el contagio sea mayor, esto ha causado que el precio base de los diferentes combustibles se hayan incrementado, por ejemplo, la gasolina, gas natural, residual, etc.

Importancia del tema de investigación

El presente trabajo de investigación contribuirá con los hogares en las zonas rurales del Pedregal, distrito de Majes, provincia de Caylloma. Se propone el diseño de un biodigestor tubular para generar biogás y de esta manera, éste, pueda reemplazar a los combustibles convencionales. Con el empleo del biogás como fuente de energía térmica se pretende conseguir una ventaja económica para los hogares en esta localidad. De manera indirecta se conseguiría un mejor manejo de residuos orgánicos que se producen en estas localidades.

El biol obtenido producto de la digestión anaeróbica podría ser empleado conservadoramente como fertilizante orgánico para nutrir los suelos de los cultivos existentes.

ALCANCE Y LIMITACIONES

Alcances

El presente trabajo de investigación se centrará en el diseño de un biodigestor tubular tipo salchicha, el cual mediante digestión anaeróbica producirá principalmente dos subproductos finales, el biogás y biol. Los parámetros del sistema serán tomados de la localidad del Pedregal localizado en el distrito de Majes ubicado en la provincia de Caylloma y departamento de Arequipa. El alcance será para un hogar en la localidad seleccionada, dado que es un proyecto social, el gobierno podría replicarlo en los diferentes hogares consiguiendo así que se beneficien más habitantes.

Limitaciones

Los factores más limitantes a considerar para el diseño del biodigestor es la relación de agua y mezcla diaria a emplear, esto se medirá en base a la cantidad diaria requerida de biogás. Se debe considerar también la temperatura a la cual el sistema trabajará, ya que las bacterias a temperaturas por debajo de 20° implican un mayor tiempo de retención hidráulico y una cantidad menor de metano resultante. Para esto se considerará el diseño de un invernadero, incrementando así la temperatura del medio.

VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

Variables independientes

- Parámetros ambientales
- Agua
- Presión del sistema
- Temperatura del sistema

Variables dependientes

- Biogás
- Variación de presión
- Seguridad del sistema

Operacionalización de las variables

La producción de biogás se generará en un biodigestor, mediante digestión anaeróbica del estiércol proveniente del ganado vacuno. La calidad del biogás dependerá en primera instancia de la carga diaria que alimentará al reactor, es decir, el volumen de agua y sustrato necesarios en la etapa inicial. En segunda instancia, dependerá de los diferentes parámetros como temperatura de fermentación, pH, tiempo de retención hidráulico, relación Carbono/Nitrógeno, agitación, etc.

Como segundo subproducto se obtendrá el biol, el cual podría ser empleado de manera conservadora en reemplazo de los fertilizantes químicos que se utilizan para nutrir los suelos de los cultivos de la localidad del Pedregal en el distrito de Majes.

HIPÓTESIS

Hipótesis general

Diseño del biodigestor tubular tipo salchicha mediante digestión anaeróbica para obtener como producto final biogás, el cual podría reemplazar el uso de combustibles convencionales empleados en la actualidad. De esta manera los hogares en el Pedregal, distrito de Majes, podrían obtener una ventaja económica al suspender el uso del GLP como fuente de energía térmica.

Hipótesis específica

Controlar la temperatura del sistema según la ubicación del biodigestor, esto asegurará que la producción de biogás se mantenga constante y en menor tiempo.

Conseguir un ahorro económico suspendiendo el uso de combustibles convencionales como el GLP para la cocción de alimentos. Así mismo, obtener un ahorro en el costo de vida de los miembros de los hogares ya que se reduciría el uso de leña como fuente de energía térmica.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA	RESULTADOS ESPERADOS
<p>El uso de combustibles convencionales en las zonas rurales genera una desventaja económica dada la coyuntura actual. Así mismo, los productos de la combustión de los mismos contribuyen al calentamiento global.</p>	<p>Diseño de un biodigestor tubular, el cual, mediante la digestión anaeróbica del estiércol proveniente del ganado vacuno existente en estas localidades, produciría biogás como producto final. Este combustible reemplazaría al GLP, consiguiendo de esta manera impulsar el uso de energías renovables.</p>	<p>Diseño del biodigestor tubular tipo salchicha mediante digestión anaeróbica para obtener como producto final biogás, el cual podría reemplazar el uso de combustibles convencionales empleados en la actualidad. De esta manera los hogares en el Pedregal, distrito de Majes, podrían obtener una ventaja económica al suspender el uso del GLP como fuente de energía térmica.</p>	<p>Parámetros ambientales</p> <p>Agua</p> <p>Presión del sistema</p> <p>Temperatura del sistema</p>	<p>Análisis documental de los antecedentes relacionados al presente tema.</p> <p>Temperatura del sistema.</p> <p>Presión del sistema.</p>	<p>Se evaluará y analizará de manera descriptiva las principales variables en el proceso de conversión de la materia orgánica con el fin de obtener subproductos eficientes.</p>	<p>Diseño de un biodigestor tubular para uso en zonas rurales del Pedregal, distrito de Majes para producir biogás, con el cual se pretende reemplazar el GLP (fuente de energía térmica para cocción de alimentos).</p> <p>Generar una ventaja económica para los hogares en estas zonas dada la suspensión del uso del GLP.</p> <p>Conseguir el apoyo del gobierno para inversión como proyecto social beneficiando a los hogares el Pedregal – Majes, Arequipa.</p>

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

ESTADO DEL ARTE

TESIS: ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE BIODIGESTORES TUBULARES EN EL DISTRITO DE SAN AGUSTÍN DE CAJAS - HUANCAYO

El trabajo de investigación diagnostica la viabilidad del proyecto en 4 aspectos, tecnológica, económica, financiera y social para la instalación de una planta generadora de energía eléctrica con el uso de biodigestores tubulares. El sustrato a emplear para el sistema fue estiércol de cuy. Para la asignación del precio por kwh (Palacios, 2016), esta se dio en base a la normativa de ese año dada por el Ministerio de Energía y Minas, el precio de la energía generada por medio de fuentes renovables S/. 2.71 con un incremento de 0.5 % anual.

El tamaño de la planta es de 92,007.73 kwh al último año, así mismo, la tecnología a emplear es factible de adquirir y adaptarse. La inversión total del proyecto fue de S/. 163,115.71 como activos totales y S/. 15,847.20 como capital de trabajo, un costo global de S/. 178,962.91; se consideró un financiamiento del 19.03 % de la inversión en un periodo de 5 años, 1 año de gracia parcial y 6% de tasa efectiva anual. La valoración económica mostró un total de S/. 280,295.56 de valor actual neto, 41.13% de tasa interna de retorno, 2.57 de relación beneficio / costo y un periodo de recuperación de 04 años y 09 meses. Con respecto a la evaluación financiera se mostró un monto de S/. 292,743.31 de valor actual neto, 44.67% de tasa interna de retorno, 3.02 de relación beneficio / costo y un periodo de recupero de 04 años y 05 meses. (Sotomayor, 2021)

TESIS: DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO

En este trabajo de investigación, el tesista realiza el diseño de una instalación de biogás a escala doméstica, el cual permitiría aprovechar las excretas del ganado vacuno y/o porcino con el fin de satisfacer la demanda energética para la iluminación y cocción diaria de alimentos en una familia de cinco a seis miembros. Su diseño incluye el dimensionamiento del reactor, donde se produce la digestión anaeróbica del sustrato mencionado; de una zanja donde reposaría el biodigestor; de un gasómetro, el cual permitiría almacenar el biogás resultante y de las tuberías de transporte de gas desde el biodigestor hacia los puntos de consumo. Los costos aproximados de la instalación se expresan y se evalúan mediante el índice financiero VAN y el periodo de recuperación de la inversión “payback”. Se considera también el rendimiento sobre los cultivos del fertilizante orgánico obtenido (biol) y la cantidad de fertilizantes químicos comerciales que se dejan de comprar. (Palacios, 2016)

TESIS: DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR CARAZO - NICARAGUA

En este trabajo, el tesista diseña, construye y pone en funcionamiento un biodigestor tubular de bolsa; luego para fines didácticos deja constancia de todo el proceso de construcción y generación del biogás, de esta manera futuros estudiantes podrían implementar el biodigestor y tomarlo como punto de partida para futuras investigaciones.

Los materiales empleados para la construcción fueron locales, la inversión de capital fue baja y sin complejidad técnica; todo con el fin de que el habitante nicaragüense pueda controlar y mantener el sistema. Se recogieron datos en los laboratorios de UNAN-FAREM Carazo y en las inmediaciones del biodigestor con el fin de conseguir la máxima

eficiencia en la etapa inicial de producción de gas y de aportar datos empíricos recogidos durante el proceso de digestión. (Muñoz, 2012)

ARTÍCULO CIENTÍFICO: *¿IS BIOGAS AN ENERGY OR A SUSTAINABILITY PRODUCT?*

– *BUSINESS OPPORTUNITIES IN THE FINNISH BIOGAS BRANCH*

El estudio realizado se centró en el caso de Finlandia, el cual se basó en el análisis de documentos políticos, análisis del desempeño financiero y las entrevistas realizadas a las empresas de biogás (escala industrial y agrícola). Al realizar el análisis de los documentos de política nacional, se reveló que, si se fomentara la producción y utilización del biogás, los objetivos y las medidas fueran formuladas con bastante cautela, la tendencia es a permanecer en un nivel general. Del 2011 al 2017, se estudió el desempeño financiero, es en este tiempo que la producción de biogás se duplicó en Finlandia (52,000 m³ a 110,000 m³). Si bien el retorno de inversión de las empresas estudiadas disminuyó del 10 % al 5 % durante el mismo periodo, existen otros beneficios que respaldan la producción de biogás. El rendimiento de las plantas industriales de mayor escala fue más estable debido a las tarifas de entrada que se obtuvo del tratamiento de residuos; según las entrevistas realizadas, las plantas a escala agrícola también se beneficiaron, dado que ganaron co-beneficios no comerciales de la planta de biogás, como una mejor gestión del estiércol. Por otro lado, las plantas industriales como las agrícolas, vieron nuevas oportunidades comerciales en el futuro empleando el biogás como combustible de vehículos, así como también, el reciclaje de nutrientes; la tecnología del biogás tiene un gran potencial para mitigar el cambio climático y la eutrofización. Los gobiernos futuros deberían tomar en cuenta los beneficios que trae consigo la producción del biogás. (Erika Winqvist, 2019)

ARTÍCULO CIENTÍFICO: *UTILIZATION OF RENEWABLE SOURCES OF BIOGAS FOR SMALL-SCALE PRODUCTION OF LIQUID FUELS*

La baja densidad energética de las materias primas agrícolas o biotecnológicas obedecen a la necesidad de su procesamiento local. Los productos agrícolas a pequeña escala o las plantas de procesamiento de desechos no pueden utilizar de manera rentable tecnologías comunes en la petroquímica a gran escala, incluido el complejo y costoso proceso de reformado con vapor de biogás en gas de síntesis para su posterior conversión a combustible líquido. La investigación realizada sugiere el uso de fuentes a pequeña escala de recursos económicos; el biogás y otros gases de hidrocarburos renovables se procesan para conseguir la producción de biocombustible líquido mediante la conversión del aire en reformadores de matriz recientemente desarrollados en gas de síntesis rico en nitrógeno de bajo costo, seguido de Fischer – Tropsch, síntesis de una cascada de reactores secuenciales. Los reformadores de matriz autotérmicos son muy compactos, de diseño simple, tienen varias veces más capacidad de volumen específico que las tecnologías tradicionales, y permiten procesar biogás con una alta concentración de CO₂. Se discuten las ventajas de la conversión de bajo costo de biogás en combustible líquido basado en gas de síntesis enriquecido con nitrógeno con la posterior síntesis de Fischer – Tropsch (Vladimir Arutunov, 2019)

ARTÍCULO CIENTÍFICO: *BIOFILM DE BAJO COSTO PARA MEJORAR LA DIGESTIÓN ANAERÓBICA EN REGIONES DE CLIMA FRÍO CON DIGESTORES TUBULARES*

Esta investigación evalúa el aumento de producción de biogás con digestores tubulares de bajo costo en los climas fríos usando anillos PET en el interior del reactor. Dos digestores similares han sido operados y monitoreados en condiciones de clima frío y

también han sido alimentados con estiércol de vaca. La diferencia entre los dos sistemas es que uno se llenó con anillos PET como portadores de biofilm, llegando a ser el área “funcional” al interior del digestor 4.2 veces mayor. Los resultados obtenidos muestran que un 44% más de biogás por KgSV se ha producido al utilizar el portador de biofilm ($0.33 \text{ m}^3/\text{kgSV}$; $0.09 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$) en relación al otro digestor ($0.23 \text{ m}^3/\text{kgSV}$; $0.06 \text{ m}^3/\text{m}^3/\text{d}$), el cual es operado en mismas condiciones climáticas de frío y con una tasa de carga orgánica de $0.26 \text{ kgSV}/\text{m}^3/\text{d}$. La calidad de biogás es similar en ambos casos, mientras que la reducción de los sólidos volátiles totales, así como la retención de sólidos minerales, es mayor en el digestor con el portador del biofilm. Al evaluar el rendimiento térmico se obtuvo que el digestor tubular de bajo costo se adaptó al clima frío sin ningún dispositivo de calentamiento activo, la temperatura de suspensión fue de 16.6°C , cuando la temperatura ambiente media diaria en invierno es 6.1°C con varias noches por debajo de cero, esto se dio debido al diseño pasivo solar apropiado. (Martí-Herrero Jaime, 2014)

ARTÍCULO CIENTÍFICO: *BIOGAS: DEVELOPMENTS AND PERSPECTIVES IN EUROPE*

En este artículo se presenta una descripción general del desarrollo y las perspectivas del biogás empleando como generación de electricidad, calor y transporte en la Unión Europea (UE) y sus Estados miembros. La producción de biogás ha aumentado en la UE, alentado por las políticas de energías renovables, además de los beneficios económicos, medioambientales y climáticos, hasta alcanzar los 18,000 millones de m^3 de metano (654 PJ) en 2015, lo que representa la mitad de la producción mundial de biogás. La Unión Europea es el líder mundial en la producción de electricidad a partir de biogás, con más de 10 GW instalados y 17,400 plantas de biogás, en comparación con la capacidad mundial de biogás de 15 GW en 2015. El biogás suministró 127 TJ de calor y 61 TWh de electricidad en 2015; alrededor del 50% del consumo total de biogás en

Europa se destinó a la generación de calor. Europa es el líder mundial productor de biometano para su uso como combustible de vehículos o para inyección en la red de gas natural, con 459 plantas en 2015 que produjeron 1,200 millones de m³ y 340 plantas que se alimentan a la red de gas, con una capacidad de 1.5 millones de m³. Aproximadamente 697 estaciones de servicio de biometano aseguraron el uso de 160 millones de m³ de biometano como transporte de combustible en 2015.

*TESIS: PURIFICACIÓN DE METANO POR BIOFILTRACIÓN DE BIOGÁS
UTILIZANDO COMPOST COMO MATERIA SOPORTE*

En este trabajo, el tesista evalúa el funcionamiento de un biofiltro para la eliminación de H₂S y CO₂ de biogás, utilizando el compost como material de soporte y fuente de microorganismos. Los filtros fueron diseñados en base a los tiempos de retención (20 y 40 segundos), y las variantes de compost fueron 3: Compost autoclavado, compost comercial y compost bioaumentado. Para el aumento del compost se empleó un medio de cultivo específico para los microorganismos sulfo-oxidantes. El mismo compost fue empleado como fuente de microorganismos. Los materiales utilizados para la construcción de los filtros fueron en su mayoría PVC, y la evaluación fue realizada en la planta piloto de biogás de la Universidad Católica de Santa María en Majes. Los resultados obtenidos mostraron una reducción del 56.1% de H₂S en los filtros con compost esterilizado, con respecto al comercial, obtuvieron una reducción del 77.0% y finalmente con los bioaumentados, el número aumentó al 78.7%. Evaluando los resultados, la diferencia significativa se dio entre el compost esterilizado y el normal, por otro lado, hubo una diferencia significativa en la interacción del tiempo de retención para la eliminación de H₂S del biogás. En relación al CO₂, la disminución en los 3 sistemas figuró en el promedio siguiendo los siguientes valores: estéril 20.6%, comercial 19.0% y bioaumentado en 25.6%. Estos resultados hicieron que se declinen por la utilización de

compost comercial. La escala empleada en el diseño fue de 20:1, para un tiempo de retención de 40 segundos. El biofiltro escalado a nivel piloto, obtuvo resultados que superaron el 99% de efectividad siendo solo la última medición inferior a este promedio con 98.9% de remoción, caso contrario representó la eliminación de dióxido de carbono pues su porcentaje de remoción estuvo por debajo del 5% excepto la primera que estuvo en 11.76%, siendo la última medición de 0.79%. (Benavente, 2019)

TESIS: EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DEL USO DE BIOGÁSPRESURIZADO PRODUCIDO EN EL BIODIGESTOR DE ALTA EFICIENCIA DE LA UCSM, EN LA IRRIGACIÓN EL PEDREGAL MAJES – AREQUIPA

En esta investigación se evaluaron los impactos socioeconómicos del uso de biometano presurizado en equipos agrícolas de la Irrigación el Pedregal Majes Arequipa; la investigación se realizó dentro del marco del proyecto denominado: Producción y uso de biometano presurizado como sustituto de combustibles fósiles en el sector agrícola el cual fue financiado por el PNIA (Programa Nacional de Innovación Agraria) y ejecutado por la Universidad Católica de Santa María, en la irrigación del Pedregal Majes, Arequipa. Los datos fueron obtenidos mediante encuestas, focus group y entrevistas a profundidad, siendo las unidades de estudio el sector agrícola, comercio y urbano, la muestra evaluada fue de 369 pobladores. El biometano presurizado fue utilizado para el funcionamiento de un caldero, un quemador de cochinilla, generación de energía eléctrica, combustible para el funcionamiento de un automóvil, un tractor y una moto cultivadora. Los resultados que se obtuvieron de la investigación con respecto al tipo socioeconómico fue que el uso del biometano en el ámbito económico permite un ahorro aproximado del 70 % en el costo del combustible. El valor de mezcla estequiométrica en gasolina es de 14.7 partes de aire por 1 parte de gasolina, mientras que en el biometano es de 17.2 partes de aire por 1 parte de biometano lo cual ayuda económicamente en su

utilización y esto se corrobora con la opinión de la población, el cual manifiesta un 97% que si le interesa conocer los beneficios de este producto, a su vez se relaciona mucho lo social con lo económico, ya que la población acepta con un 47% como producto natural y con un 39% al ser un producto económico. En el aspecto medio ambiental, el impacto negativo se reduciría hasta un 30% y también fomentaría nuevos puestos de trabajo. (Huayta, 2019)

ANTECEDENTES

Osinergmin, Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, informó que en el Perú existen recursos energéticos renovables de alto potencial, tales como, la energía solar, eólica, energía a partir de la biomasa, a partir del biogás, mini hidráulica, mareomotriz, geotérmica, nuclear. Con respecto al uso de la bioenergía, el Perú tiene posibilidades de instalar centrales de biogás con una capacidad de 51 MW. Dado el impacto que el biogás tiene como recurso energético renovable, debería ser impulsado por un apoyo económico.

En la tesis, *Construcción y evaluación de funcionamiento de un digestor de 6 m³ ubicado en la provincia de Paruro*, se investiga el diseño de un digestor de modelo chino a 3,340 msnm, dada la altura a la que se encuentra, las condiciones climáticas varían, es por ello que este trabajo considera realizar mejoras en el biodigestor para que las condiciones climáticas no afecten el funcionamiento normal de este, y los parámetros de diseño continúen siendo óptimos. Se consideró el aislamiento en el suelo y paredes laterales empleando ladrillo cocido como material de mampostería, para evitar las fracturas y agrietamientos se reforzó con fierro corrugado y para mejorar la inercia térmica del sistema e incrementar la temperatura del lodo se construyó un invernadero sobre el biodigestor.

Este trabajo tiene por objetivo aprovechar al máximo los recursos que se tienen en las zonas rurales de la ciudad de Arequipa, de esta manera, se podría aprovechar el primer subproducto obtenido (biogás), que se utilizaría como reemplazo de los combustibles que se emplean actualmente como fuente energética de manera diaria para la cocción de alimentos e iluminación. De esta manera se contribuiría con el medio ambiente, ya que este recurso energético es un combustible limpio. Además, se podría utilizar el segundo subproducto obtenido de la digestión anaeróbica (biol), a fin de que este fertilizante orgánico pueda reemplazar el uso de fertilizantes químicos empleados hoy en día.

En la década de los “70” y “80” se ejecutaron las primeras instalaciones de los biodigestores en gran parte de los países, el biodigestor instalado fue de domo fijo; estos proyectos estuvieron a cargo de la Agencia de Cooperación Técnica Alemana (GTZ) y también vinculados a las universidades públicas. Con estos proyectos se pudo probar la tecnología, el desarrollo de investigación sobre el uso del fertilizante producido y adaptar un motor de combustión interna a que funcione con biogás. Posteriormente, terminando la década de los “80”, los proyectos dejan de ser impulsados y es aquí donde aparece la falta de sostenibilidad, durante este tiempo se observó que los costes de inversión de nuevos biodigestores (domo fijo) eran altos y que había faltado un adecuado seguimiento y control para los reactores ya instalados.

Ya para la primera década del milenio este tipo de proyectos vuelve a tomar fuerza en todo Latinoamérica, esta vez fueron impulsados y vinculados a fondos de cooperación internacional y ejecutado desde ONGs. En esta oportunidad el tipo de biodigestor al que le apostaron fue el de tipo tubular de plástico, posteriormente para el 2006, decidieron elegir el biodigestor del tipo tubular de geomembrana. Durante todo este tiempo se llegaron a desarrollar pequeños proyectos de biodigestores por todo Latinoamérica con experiencias muy variadas en cuanto a resultados, apropiación y

sostenibilidad. Es resaltante mencionar que el factor principal que determina el éxito o fracaso de estos nuevos proyectos es la estrategia social de implementación, esto quiere decir que mientras mayor seguimiento se da se obtienen mejores resultados. Durante la siguiente década, universidades interesadas en la investigación y desarrollo de este tipo de biodigestores a bajo costo comienzan a explorar como democratizar la tecnología y de esta manera hacerla accesible al mayor número de pequeños y medianos productores. Un claro ejemplo es Bolivia, este país desarrolló un proyecto nacional de 2008 a 2012 en el cual se instalaron 750 biodigestores tubulares domésticos y hacía uso de un diseño de calefacción pasiva, esto por encontrarse la mayoría de ellos en el altiplano boliviano.

Los resultados de las experiencias que hubo en los diferentes lugares con respecto a la instalación de biodigestores fueron muy dispares, por lo cual se requería centralizar o crear un espacio donde se pueda compartir lecciones aprendidas, experiencias y opciones de mejora con respecto al biodigestor, es entonces que en el 2009 se crea la Red de Biodigestores de Latinoamérica y el Caribe (REDBIOLAC). De esta manera se llegan a sumar las ONGs, fundaciones, universidades, empresas pequeñas y medianas, microfinancieras y asociaciones de productores de todo el continente. Años más tarde se comenzó a evaluar la implementación de Programas Nacionales de Biogás (PNB), este programa se basa en metodologías exitosas en Asia y África. Estos programas están basados en el desarrollo de un mercado sostenible de biodigestores; Honduras, Perú, Nicaragua y Bolivia han sido los cuatro primeros países que evaluaron la factibilidad de desarrollo de un PNB.

En el Perú el uso del biogás empezó en 1979 mediante un convenio entre la UNC y el ITINTEC, esta tecnología inició difundirse en Cajamarca y Puno, pero la UNC fue la primera en dar un agigantado impulso a la investigación dado que se instalaron 02 biodigestores en el fundo la Victoria en 1979. Es a partir de allí que CIPENC, en 1981,

estableció que se proponía continuar con la investigación del biogás a través del “Programa Biogás”. En 1981, ITINTEC realizó el financiamiento y ejecución del primer “Programa de Investigación del Biogás” en el Perú. Para 1990 existían ya alrededor de 50 biodigestores, de los cuales el 86% por cierto de estos eran del tipo chino y el 12% eran del tipo campana flotante, solo se tenía uno que era del tipo horizontal de 52 m³.

Tabla 1

Relación de biodigestores en Cajamarca

Ítem	Biodigestor	Tipo	Capacidad (m ³)	Año de construcción	Material
1	La Colpa	Chino		1983	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
2	La Victoria	Chino	10	1980	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
3	Huayllapampa	Chino	25	1986	Cemento, hormigón, arena
4	Pariamarca	Chino	15	1989	Cemento, hormigón, arena
5	Plan Manzanas	Chino	15	1984	Cemento, hormigón, arena
6	Huambocancha	Chino	15	1984	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
7	Tuculoma	Chino	15	1984	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
8	El Carmen	Chino	12	1982	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
9	Columbito	Chino	12	1981	Cemento, hormigón, arena, ladrillo

10	San Vicente	Chino	12	1982	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
11	Tartar	Chino	26	1986	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
12	El Cortijo I	Chino	12	1982	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
13	El Cortijo II	Borda con campana	18	1983	Cemento, hormigón, arena, ladrillo, plancha de fierro para la campana
14	La Argentina	Chino	12	1981	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
15	Pamplona	Chino	12	1983	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
16	Moyococha I	Chino	10	1981	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
17	Moyococha II	Borda con campana	18	1984	Cemento, hormigón, arena
18	Miraflores	Chino	12	1983	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
19	La Colpa II	Chino	30	1990	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
20	Matamal	Chino	12	1983	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
21	El Tinte	Chino	15	1983	Cemento, hormigón, arena, ladrillo

22	Huana Huana	Chino	15	1981	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
23	Unanca	Chino	20	1984	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
24	I.S.T Calendin	Chino	20	1988	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
25	ERA	Chino	15	1989	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
26	La Victoria (2)	Borda con campana flotante	20	1982	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
27	La Victoria (3)	Borda con campana flotante	20	1984	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
28	El Tambo	Borda con campana flotante	20	1983	Ladrillo, cemento, arena, hormigón, etc
29	Sulluschoc ha	Borda con campana flotante	18	1983	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
30	Chilacat	Chino	25	1984	Ladrillo, cemento, arena, hormigón, etc
31	Chuco	Chino	20	1985	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
32	Quinuamayo	Chino	12	1984	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
33	Municipalidad San Bernal	Chino	20	1985	Cemento, hormigón, arena, ladrillo

34	Tuctuhuasi	Chino	14	1986	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
35	Santa Clara	Chino	20	1985	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
36	Shumba Alta	Chino	25	1986	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
37	El Zapato	Chino	20	1985	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
38	El Milagro	Chino	20	1985	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
39	Casil N°126	Chino	18	1986	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
40	Asilo de Ansianos	Chino	20	1987	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
41	Cooperativa Cafetalera Lambayeque	Chino	20	1987	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
42	Chepito - Laguna	Chino	20	1984	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
43	Colegio Agropecuari o Cajabamba	Chino	20	1986	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
44	El Huayo	Chino	18	1985	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
45	Chigdén	Chino	20	1985	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
46	I.S.T Cajamarca	Chino mixto	18	1987	Cemento, hormigón,

47	San José	Chino	18	1986	arena, ladrillo Cemento, hormigón, arena, ladrillo
48	San Luis	Chino	15	1984	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
49	Ciudad Universitari a (1)	Chino	12	1981	Cemento, hormigón, arena, ladrillo
50	Ciudad Universitari a (2)	Horizontal	52	1982	Cemento, hormigón, arena, ladrillo, fierro, etc

Nota. Fuente (Peña)

INDICES DE CRECIMIENTO DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

El calentamiento global es un fenómeno que con el tiempo amenaza más y más al planeta, esto hace necesario iniciar acciones para frenar los efectos negativos que impactan en pequeña y gran medida a todos los países. Es por ello que se inició un proceso de descarbonización que incluye el cierre de centrales de generación eléctrica basadas en carbón o diésel y la construcción y puesta en marcha de centrales eléctricas basadas en recursos energéticos renovables.

De acuerdo a lo informado por la CIA y a la información propia de IRENA, la participación de los RER al 2016 a nivel mundial dentro de la matriz energética fue de alrededor la tercera parte de los 6,386 GW de potencia (esto equivale al 32% con respecto a la potencia instalada en el mundo). Estas tecnologías comprenden las de tipo hidráulica con un 18% (1,126 GW), no incluyendo las de almacenamiento por bombeo; la participación de la energía eólica ha sido del 7% del total (467GW), mientras que la

energía solar ha tenido una participación del 5% de la potencia total (297 GW). En el porcentaje restante que equivale el 2% se encuentran otro tipo de tecnologías como lo son la biomasa, los biocombustibles sólidos, líquidos y el biogás. Por último, en menor producción se tienen las centrales geotérmicas con 12GW y las marítimas que son la mareomotriz, undimotriz y maremotérmica.

De acuerdo a lo mencionado en el “Acuerdo de París” en 2015, citando el Artículo 2 se encuentra “Mantener el aumento de la temperatura media mundial muy por debajo de 2°C con respecto a los niveles preindustriales, y proseguir los esfuerzos para limitar ese aumento de temperatura a 1.5°C con respecto a los niveles preindustriales, reconociendo que ello reduciría considerablemente los riesgos y los efectos del cambio climático”. Como medida de acción para llevar a cabo esta importante meta se propone facilitar y promover el desarrollo de centrales eléctricas que sean accionadas por recursos renovables, pero a su vez deberían ser atractivas económicamente para que los inversionistas puedan optar por esta tecnología sin correr muchos riesgos.

PRINCIPALES PLANTAS TIPO RER EN EL MUNDO

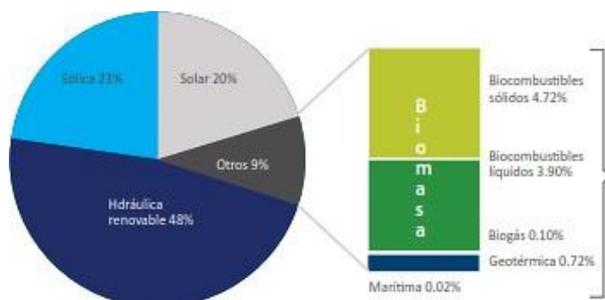
Entre las principales plantas de generación eléctrica tipo RER instaladas a nivel mundial se tiene la planta solar de Tengger Desert Solar Park en Zhongwei, Ningxia con una capacidad máxima de 1,547 MW. Con respecto a la energía eólica se tiene el proyecto Gansu Wind Farm, que hasta 2015 poseía 7,965 MW (se tiene planeado que para 2020 alcance los 20,000 MW); la planta hidroeléctrica más grande en expansión y en potencia instalada con 22,500 MW viene a ser la hidroeléctrica Tres Gargantas.

Con respecto a la biomasa, Finlandia es el país que más empleó este recurso energético, mientras que Reino Unido tiene la planta de mayor potencia, esta es Ironbrigde la cual se

localiza en Severn Gorge proveyendo de 740 MW. Es necesario mencionar que en este tipo de tecnologías se incluyen los biocombustibles líquidos y el biogás.

Figura 1

Participación de la potencia instalada (MW) de generadoras tipo RER en el mundo por tecnología



Nota. Adaptado de (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

Los costos en las inversiones en las generadoras del tipo renovable suelen no ser competitivos para poder realizar operaciones dentro del sector energético. Sin embargo, de acuerdo a lo informado por OSINERGMIN, en los últimos años hay evidencia de una disminución de precios en los equipos eólicos y solares, esto generó que las inversiones se disparen hasta ocupar gran parte del crecimiento de los RER. Esta tendencia se replica con los diferentes recursos energéticos renovables como lo son la biomasa, la marítima y la geotérmica. La reducción de los costos en los equipos es de menor intensidad, sin embargo, se prevé que para el año 2050 compitan de igual a igual con los recursos más eficientes.

Figura 2

Costo promedio ponderado global (USD/kWh), 2017 - 2018

Tecnología	Eólica on-shore	Eólica off-shore	Solar fotovoltaica	Solar térmica	Hidráulica	Geotérmica	Biomasa	Variación promedio a 2018
2017	0.064	0.127	0.097	0.250	0.055	0.073	0.071	-11%
2018	0.055	0.126	0.085	0.186	0.048	0.072	0.061	
Variación en el costo total 2017-2018	-14%	-1%	-12%	-26%	-13%	-1%	-14%	

Nota. Fuente. (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

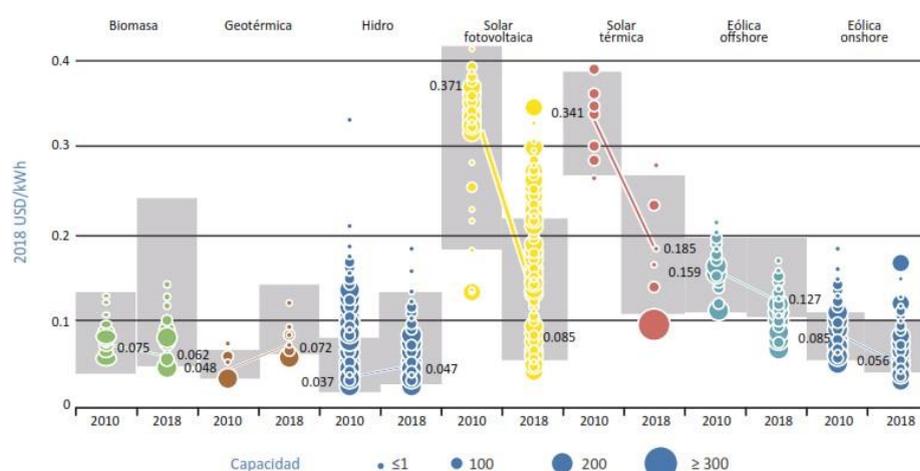
Es necesario comprender el concepto de la variable LCOE (Levelized Cost Of Energy), este parámetro refleja el costo del kW por hora en dólares reales considerando la inflación. Este parámetro resulta del cociente del “Costo Total Vida Útil” y la “Generación Total de Energía”, la interpretación de este resultado es el mínimo valor al cual se puede vender la energía producida de la central, obteniendo un balance neto igual a cero. Conociendo este valor se podría comparar diferentes proyectos y tecnologías de generación por energía renovable.

Las diferentes tecnologías energéticas han tenido variaciones en el LCOE, las generadoras eólicas han reducido sus costos en 35%; con respecto a las generadoras eléctricas que emplean biomasa como fuente energética han disminuido un 18%, esto básicamente por el desplazamiento de los residuos agrícolas y forestales a la generación eléctrica. En contraste las hidroeléctricas han tenido un aumento en sus costos de producción del 31%, esto dado que se incluyen costos ambientales y sociales. Las tecnologías en centrales geotérmicas han incrementado su LCOE en un 50%. Por otro lado, las centrales fotovoltaicas han tenido una reducción en sus costos del 77%, llegando a niveles de 0.09 USD/kWh, este cambio genera la ejecución de los proyectos solares con un potencial mayor a 300MW en 2018. Por último, las centrales solares térmicas también

han tenido una variación en su LCOE, disminuyendo un 46%, esto hace que tenga un margen competitivo a futuro con una media de 0.185 USD/kWh.

Figura 3

LCOE global de tecnologías de RER a escala comercial (2010 – 2018)



Nota. Fuente (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

De acuerdo a la IEA, existen principios para poder desarrollar mecanismos de soporte financiero a los proyectos RER, principios según (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

- Asegurar niveles de remuneración apropiados para el mercado, con una disminución en el tiempo vinculada a la capacidad desplegada y donde realizar subastas.
- Supervisar constantemente las revoluciones del mercado para establecer correctamente los niveles de tarifa / prima.
- Desarrollar niveles de remuneración que reflejen el valor del sistema de renovables específicos (por ejemplo, la ubicación, la capacidad de generar en momentos específicos).

- Para las energías renovables descentralizadas a pequeña escala, considerar alternativas a la medición neta que reflejen el valor del sistema (niveles de tarifas variables según hora del día).
- Asegurar la equidad general a los consumidores, por ejemplo, al no compensar en exceso a los propietarios de energía solar en los techos a expensas de otros consumidores.
- Evaluando y siguiendo todos estos principios cuidadosamente se podría asegurar un buen mecanismo de soporte financiero para los proyectos RER.

CENTRALES TIPO RER EN EL PERÚ

La producción de electricidad en el Perú ha crecido a una tasa anual de 7.0% en los últimos 21 años en resumen pasó de 12,170 GWh a 50,817 GWh entre los años 1997 y 2018. De acuerdo al Decreto Legislativo (DL) N°1002, es de interés nacional y necesidad pública el desarrollo de la generación de energía eléctrica mediante RER; se tiene una serie de incentivos según (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019) que listan lo siguiente:

- I. La prioridad en el despacho diario de carga realizado por el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES).
- II. La prioridad para conectarse a las redes eléctricas de transmisión y distribución.
- III. Las tarifas establecidas a largo plazo determinadas mediante subastas.
- IV. Los fondos financieros para la investigación y desarrollo de proyectos de generación eléctrica con RER.

En la industria eléctrica se tiene un concepto sumamente interesante que viene a ser la potencia instalada, esta no es más que la sumatoria de las capacidades de energía que en condiciones ideales puede entregar y producir una central eléctrica. Se ha reportado un

crecimiento de tasa anual del 9.3% en las centrales RER del 2008 al 2018, esto traducido en valores va desde 10MW a 1,032MW.

Figura 4

Evolución de la potencia instalada de las centrales RER

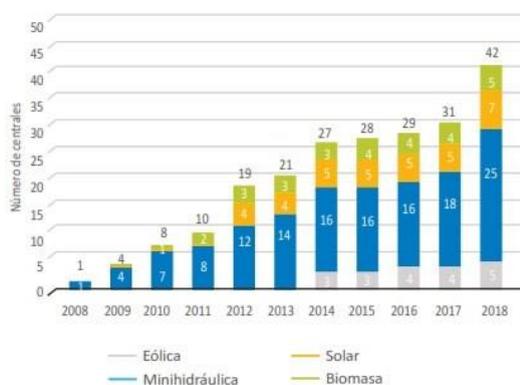


Nota. Fuente (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

Se tiene un crecimiento en cantidad de centrales RER, según Osinergmin en el 2018 se tiene el ingreso de 11 nuevas centrales, entre las cuales se tiene centrales solares y minihidráulicas cuyas potencias se elevaron a 196.9% y 58.8% respectivamente.

Figura 5

Evolución del número de centrales RER por tipo de generación



Nota. Fuente (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

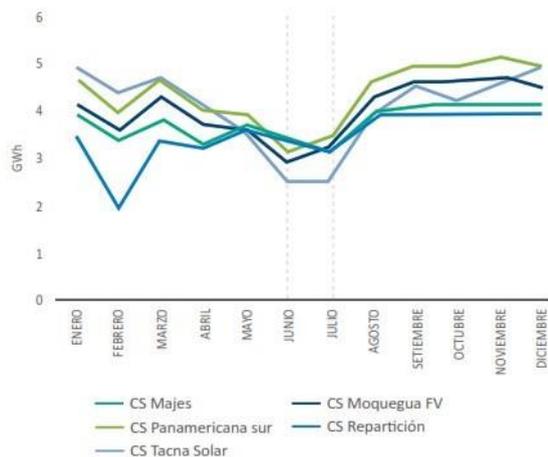
Como se logra visualizar en la figura 5 se tiene un crecimiento en las centrales generadoras RER en las diferentes tecnologías como son la eólica, solar, minihidráulica y biomasa. En el Perú dadas las diferentes tecnologías RER se tienen diferentes producciones eléctricas de acuerdo a la fuente energética, entre las cuales tenemos la producción solar, la producción eólica, la producción con biomasa, la producción con minihidráulica.

Producción solar

Actualmente el Perú cuenta con siete centrales solares con tecnología fotovoltaica en las diferentes regiones como son Moquegua (4), Arequipa (2) y Tacna (1). La central más grande del país con una potencia instalada de 144.5 MW es Rubí de Enel Green Power Perú, esta central registró una producción anual de 424.2 GWh en el año 2018, esta potencia representa el 57% de la producción total con respecto a energía solar. La central es capaz de generar 440 GWh anuales, equivalentes al consumo de 350,000 hogares peruanos, evitando de esta manera la emisión anual de 209 mil toneladas de CO₂. Debido a las condiciones climáticas, es decir, incremento de presencia de nubosidad a lo largo del litoral peruano, la producción de electricidad en las centrales solares ha disminuido entre junio y julio de ese año.

Figura 6

Producción eléctrica de las centrales solares en GWh (2018)



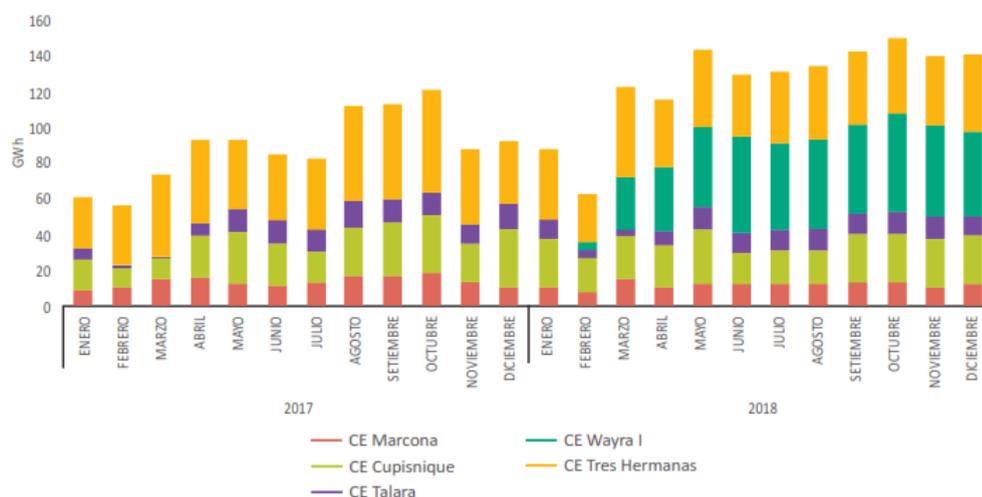
Nota. Fuente (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

Producción Eólica

En el Perú a finales del año 2018, se registraron cinco parques eólicos entre los cuales se tiene en la ciudad de Ica el parque eólico Marcona, Wayra I y Tres Hermanas; en la ciudad de Piura se tiene Talara y en la ciudad de La Libertad, Cupisnique. La potencia total instalada de todos estos parques eólicos es de 375.5 MW. Es importante resaltar que el parque eólico más grande es el de Wayra I, el cual tiene una potencia instalada de 132.3 MW (42 aerogeneradores con potencia individual de 3.2 MW). Esta central eléctrica podría generar hasta 600 GWh al año, lo que en consumo anual equivale al de medio millón de familias peruanas y evitaría la emisión de alrededor 288,000 toneladas de CO₂ a la atmósfera por año, lo cual contribuye a contrarrestar el calentamiento global.

Figura 7

Producción eléctrica de los parques eólicos en GWh (2017 – 2018)



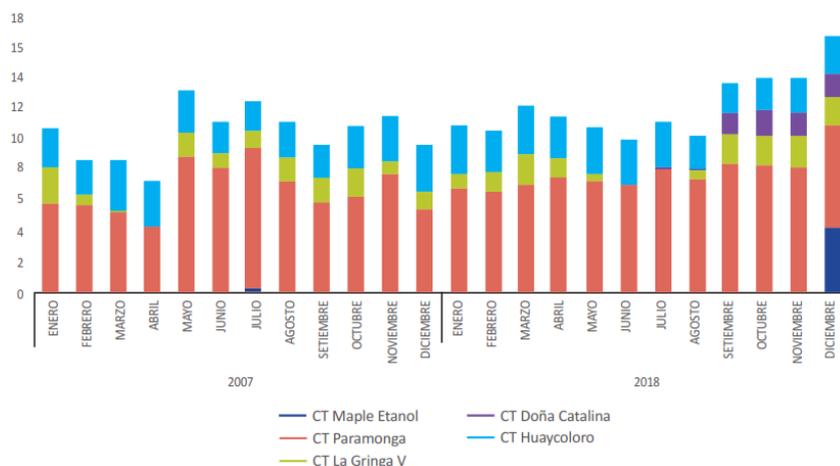
Nota. Fuente (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

Producción con biomasa

En la actualidad el Perú cuenta con cinco centrales provenientes de la biomasa: La Gringa V, Huaycoloro, Paramonga, Doña Catalina, todas estas ubicadas en Lima; en la ciudad de Piura se encuentra la central Maple Etanol. En el año 2018 dos centrales eléctricas tuvieron la mayor participación con respecto a la potencia instalada con un total de 52.9% (37.5 MW) y 32.4% (23.0 MG), estas centrales fueron las de Maple Etanol y Paramonga respectivamente. El bagazo de la caña de azúcar es utilizado como fuente de energía por la central eléctrica Paramonga.

Figura 8

Producción eléctrica de las centrales de biomasa en GWh – 2018



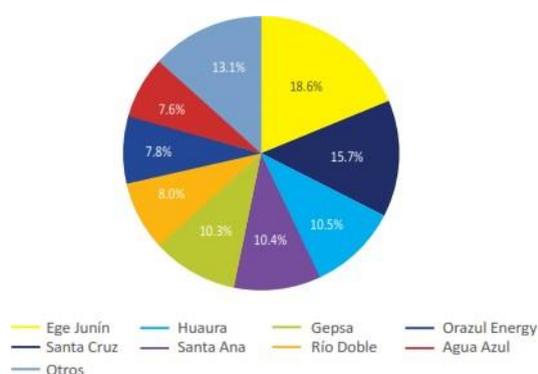
Nota. Fuente (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

Producción minihidráulica

Tradicionalmente el Perú es un país hidroeléctrico, Carhuaquero IV fue la primera central minihidráulica con una potencia instalada de 10 MW en el 2008. Para el 2018 en el Perú se registraron alrededor de 25 centrales eléctricas minihidráulicas con una potencia total de 298.86 MW. Estas centrales se concentran en las ciudades de Junín, Lima, y Cajamarca, la producción eléctrica en el 2018 fue de 1290.9 GWh, la central de Ege en Junín lideró esta lista con 239.9 GWh, en segunda posición se encuentra la firma Santa Cruz, con Huasahuasi I y II, Santa Cruz I y II con 176.9 GWh.

Figura 9

Participación por empresa en la producción eléctrica de las centrales minihidráulicas – 2018



Nota. Fuente (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería, 2019)

BASES TEÓRICAS

El biogás es una fuente energética renovable, la cual, se obtiene mediante descomposición de materia orgánica en un biodigestor, el sistema debe ser anaeróbico, consiguiendo así que las bacterias presentes en la degradación de la materia trabajen eficientemente. Durante el proceso biológico dentro del reactor, se dan diferentes procesos como la hidrólisis, la acetogénesis y la metanogénesis; siendo esta última la más importante, dado que es aquí donde se produce el biogás, el cuál en su composición existe entre un 55% - 75% de metano, dióxido de carbono y pequeñas proporciones de otros gases. Uno de esos gases es el ácido sulfhídrico, el cual es potencialmente tóxico en altas concentraciones, para controlar este gas se debe considerar en la red un filtro de H₂S. En algunos sistemas se diseña también un gasómetro, el cual permite el almacenamiento de biogás cuando el flujo disponible es mayor al requerido.

En lugares que se encuentren a alturas elevadas y las temperaturas del medio sean bajas, se debe considerar el diseño de un invernadero, el cual permitirá aprovechar la radiación solar para aumentar la temperatura del sistema, consiguiendo así un menor tiempo de retención hidráulico y una producción de biogás constante. En los sistemas de biogás de uso doméstico se emplean tuberías de PVC debido a que las presiones de trabajo no son tan altas como en las instalaciones de gas natural, este material también es resistente contra los ácidos y como es sabido se tiene presencia de H₂S en la red. Por otro lado, la equivalencia que tiene el biogás con otros combustibles es aceptable y trabaja muy bien; existen métodos para purificar el biogás transformándolo en biometano, este último podría ser aprovechado como combustible de alimentación en los motores de los

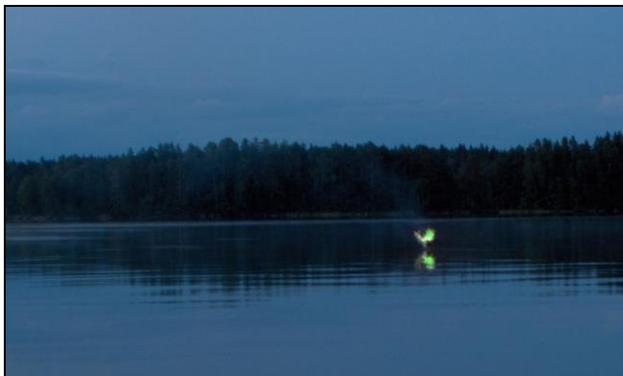
autos. El biogás también se emplea para la producción de energía eléctrica mediante equipos de cogeneración.

HISTORIA DEL BIOGÁS

El uso del biogás data de unos 3,000 años antes de cristo, donde los sumerios ya practicaban la limpieza anaerobia de los residuos (Deublein y Steinhauser 2008). Este recurso es tan antiguo que incluye nombres de los investigadores más famosos del mundo. La primera anotación científica se le atribuye a Jan Baptista Van Helmont allá a mediados del siglo XVII (1630), este científico resolvió que se obtenían gases inflamables a partir de la descomposición de la materia orgánica. En el año 1667, Shierley basándose en las conclusiones realizadas por Van Helmont, realiza el descubrimiento del gas de los pantanos (biogás), el cuál fue identificado como causante de los “fuegos fatuos”. Años más tarde, R. Boyle con la colaboración de su asistente Denis Papin predijeron la posibilidad de obtener gas proveniente de los residuos vegetales y animales en descomposición (Pine, 1971). Llegado el siglo XVIII, en el año 1728, fue publicada una obra llamada “Vegetable Staticks” la cual habla sobre la mencionada materia.

Figura 10

Representación de los fuegos fatuos



Nota. Adaptado de (Wik20)

En el año de 1776, en Italia, fue publicada la carta “Aria inflammabile native delle Paludi” por el científico Alejandro Volta, en esta carta da a conocer que en el lago *Como* se formaba un gas que era explosivo y que este evento solo sucedía cuando se agitaban los sedimentos; Alejandro concluye que existe una relación recíproca entre la cantidad de materia orgánica en descomposición y la cantidad de gas inflamable (Stafford y Hawkes, 1980). Este hecho fue aceptado totalmente por la comunidad científica de aquellos años. Más tarde, en el año de 1808, Sir Humphry Davy, químico inglés, determinó que en el estiércol del ganado vacuno se encontraba el metano, este acontecimiento se tomó como el inicio de la investigación del biogás. Este tema fue estudiado también por su alumno, el inglés Faraday, realizando algunos experimentos con el gas de los pantanos y el hidrocarburo identificado como propio de él.

A mediados del siglo XIX, en Francia se inicia una investigación con mayor detalle, más sistemática y científica para entender mejor el proceso de fermentación anaerobia. El objetivo de esta investigación se centraba en eliminar el mal olor emitido por el conjunto de aguas residuales. Durante estos ensayos los científicos descubrieron una parte de los microorganismos que hoy en día se conocen como esenciales durante el proceso de fermentación. Es en el año de 1856 que el científico Reiset, descubrió que el metano (CH_4) se libera al descomponer el estiércol acumulado y propuso que este fenómeno se investigara con mayor detalle para ayudar a explicar la descomposición del material orgánico en general.

Debido a los antecedentes del biogás es que comienza a ser tema de interés de varias naciones alrededor del mundo, tal es así que, en Bombay – India, en el año 1859 se construyó la primera planta de biogás a partir del tratamiento de aguas residuales, ésta fue construida en el asilo – hospital de leproso de Matunga. Las aguas residuales eran

purificadas por esta planta, y el subproducto obtenido se empleaba para proveer de luz y energía al hospital en caso de emergencias.

A comienzos del año 1866, uno de los primeros en demostrar fehacientemente que la formación de metano era un proceso biológico, fue el biólogo francés Antoine Béchamp, aunque otros autores le atribuyen este hecho a su compañero Tappeiner. Más tarde, en 1868, fue Béchamp quien descubre que el etanol era convertido en metano debido a una población mixta de microorganismos, y que algunos de los productos resultantes durante el proceso de fermentación dependían del sustrato.

En 1875, por primera vez, se agregan materiales celulósicos a lodos fluviales, esto fue realizado por Propoff, el fin fue de fermentar la mezcla y así poder obtener hidrógeno y metano, pero solo bajo condiciones anaerobias. Descubrió que la formación del biogás solo se producía en anaerobiosis, esto lo llevo a estudiar la influencia de la temperatura en la formación del metano. A finales del siglo XIX se demuestra la presencia de microorganismos involucrados en el proceso de fermentación metánica (Barker, 1956). Es en estos años que se construyen las primeras plantas de biogás al sur de China, tal y como se conocen actualmente.

A principios del siglo XX, Söhngen descubrió que el metano se forma a partir del hidrógeno y el dióxido de carbono. Luego en ese mismo año, el técnico Imhoff dio inicio al tratamiento anaeróbico de aguas residuales en el Ruhr, Alemania. Este científico instaló el “tanque Imhoff” con pequeños espacios separados para la digestión y sedimentación, descubrió que el tiempo de residencia del bio-desecho fue de 60 días. Años más tarde, entre 1914 y 1921, Imhoff y Blunk patentan los numerosos procedimientos como la adición de agua caliente al lodo fresco, los intercambiadores de

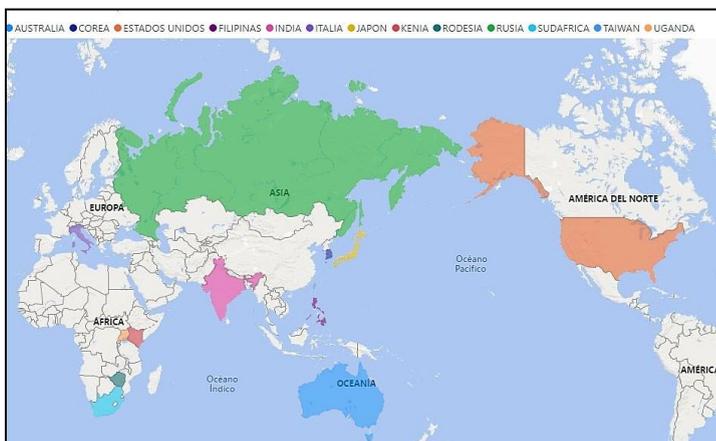
calor con doble membrana, el calentamiento del contenido del digestor por vapor o por la inyección del biogás caliente, etc.

En los años siguientes, en Birmingham (Inglaterra) se comienzan a instalar motores que tenían como combustible de alimentación el gas producido de la fermentación de la materia orgánica, el primero fue en 1921, tuvo una potencia de 25 HP, el éxito fue tan enorme que en 1927 se instala un motor de 150 HP, tres años más tarde, se instalan dos motores de 400 HP en la misma ciudad.

Ya para la segunda guerra mundial, Alemania desarrolló un gran número de instalaciones de digestión anaerobia con el propósito de potenciar sus nuevas fuentes de energía, y a pesar de que la tecnología se extendió hacia el resto de Europa Occidental, cuando la escasez de combustible cesó, solo quedaron pocos biodigestores en Francia y Alemania. Terminada la segunda guerra mundial se construyeron alrededor de 40 biodigestores en Europa, pero debido a los bajos precios de los combustibles fósiles en esa época, el desarrollo de este recurso renovable se frenó, pero tiempo más tarde el biogás se desarrolló y extendió en varios países, tales como: Filipinas, India, Estados Unidos, Japón, Taiwán, Corea, Italia, Australia, Rusia, Kenia, Rodesia, Sudáfrica y Uganda.

Figura 11

Países de influencia del biogás después de la segunda guerra mundial



Nota. Elaboración propia

Durante los años 60's, la tecnología de producción de biogás a partir del estiércol bovino fue impuesta en la India, con el doble objetivo de aprovechamiento energético y mantenimiento de las propiedades fertilizantes del digerido (Campos, 2001). En 1965, se publicaron los diseños para los biodigestores fermentados de tamaño familiar y el uso posterior del lodo para fertilizar y cultivar *Chlorella*.

Es en la década de los años 70's que se impulsa la construcción de digestores anaerobios, en 1977, en China se tenía alrededor de 5 millones de digestores instalados, esto dado que los costos de inversión se reducían por los materiales empleados para su construcción. Ya para los años 90's, en Alemania, con la nueva legislación eléctrica, se produce una nueva oleada de construcción de biodigestores, y en la actualidad estos todavía se mantienen gracias al pago por kWh producido.

Figura 12

Planta de biogás instalada en la India



Nota. Tomado de (biovec ingeniería ambiental, 2019)

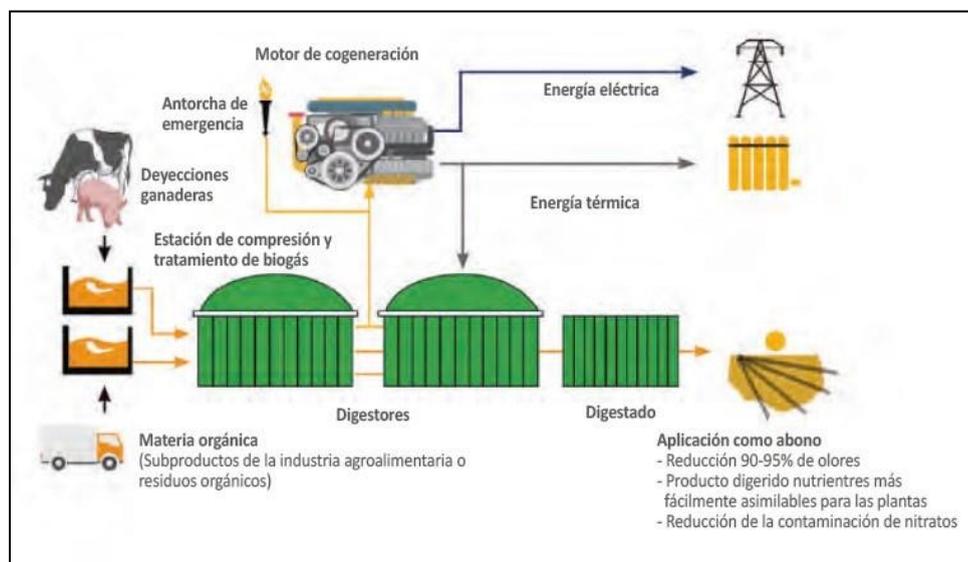
REALIDAD DEL BIOGÁS A NIVEL INTERNACIONAL

Alrededor del mundo las instalaciones de plantas de biogás basadas en granjas son las más generales, dado que estas son de baja tecnología, materiales accesibles y de tamaño familiar. Por lo cual, se emplean de seis a ocho millones de biodigestores domésticos con el fin de proporcionar energía calorífica, la cual permite a los hogares utilizarla en la cocción de alimentos, iluminación, electricidad y los consumos de ordeño y enfriamiento (en caso se cuente con esta última). De la misma manera se aprovecha el otro sub producto obtenido, el biol, debido a que este contiene alto porcentaje de nitrógeno y es muy fácilmente asimilable por las plantas.

En China e India, las plantas instaladas son más grandes y sofisticadas, esto porque en estos países el biogás obtenido se emplea para la generación de electricidad, por lo cual, el proceso para la obtención de este recurso es más controlado, haciendo un seguimiento continuo a los parámetros de funcionamiento de la planta, de esta manera el producto resultante final tiene un porcentaje alto de fiabilidad y calidad.

Figura 13

Esquema de empleabilidad del biogás

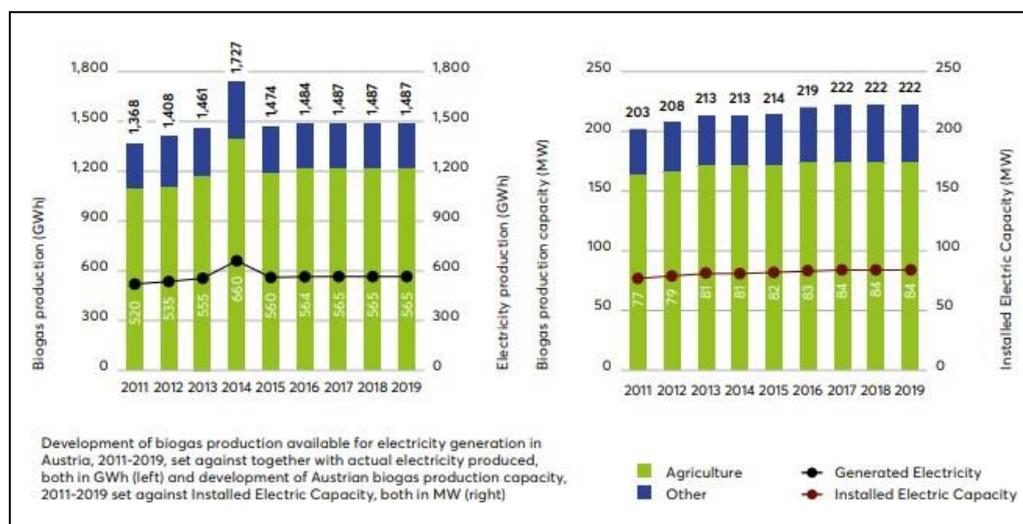


Nota. Adaptado de Ministerio de Energía de Chile

En la actualidad, la tendencia del biogás en el continente europeo ha ido creciendo, según un estudio detallado realizado por la Asociación Europea de Biogás (EBA) y Gas Infrastructure Europe (GIE), se ha pasado de tener 483 biodigestores existentes en 2018 a tener 729 biodigestores en el 2020, este incremento representa un 51% más. El informe detalla que entre los países más importantes se encuentra Alemania, con 232 plantas de biogás instaladas, en segundo lugar, se tiene a Francia con 131 y en tercer lugar a Reino Unido con 80 plantas instaladas; por otro lado, Dinamarca también se suma a este compromiso con el biogás, existen alrededor de 18 grandes plantas centralizadas funcionando en este país, esto se debe al gran manejo de residuos que existe, entre los cuales se tienen residuos agrícolas, estiércol, desechos industriales orgánicos limpios y desechos sólidos urbanos. Pero no solo resalta el gran manejo de residuos que existe, sino que también, el uso de la herramienta política clave utilizada para fomentar el despliegue de la tecnología, la fijación de precios ecológicos.

Figura 14

Desarrollo de la producción de biogás para la generación eléctrica en Austria



Nota. Adaptada de (European Biogas Associator, 2020)

La implementación del uso de biodigestores para el tratamiento de aguas residuales industriales ha crecido a gran escala, en todo el mundo se han instalado más de 1,000 sistemas. Se calcula que las plantas europeas tienen por valor el 44% de las plantas instaladas, en América del Norte se tiene un 14 %, por otra parte, en América del Sur se tiene una cantidad considerable, principalmente en Brasil, donde se utilizan para tratar el coproducto de vinaza de la producción de etanol a base de caña de azúcar. La mayoría de las plantas existentes generadoras de biogás se encuentran en un rango de tamaño de 100 a 500 kW, de la cual una pequeña fracción tienen aplicaciones industriales tales como calderas para producir calor y posteriormente generar vapor.

El continente europeo actualmente es el líder en producción de biogás, anualmente alcanza una producción de 1.23 billones m³ de biogás. Los países de la Unión Europea que mayor contribución tienen son Alemania, Reino Unido, Italia, República Checa y Francia. Europa se plantea no solo acrecentar la utilización de energías renovables, sino que también contribuir con el medio ambiente, ya que estiman alcanzar

para el 2050 una reducción entre el 80% y 95% de emisión de gases de efecto invernadero, estiman también que para ese año alcanzarían un crecimiento de empleabilidad de energías renovables entre el 55% y 75% garantizando de esta manera una serie de desafíos y oportunidades para la descarbonización del sistema energético.

Figura 15

Planta de biogás Iron bridge – Reino Unido (740 MW)



Nota. Adaptado de (eadic, 2016)

REALIDAD DEL BIOGÁS A NIVEL NACIONAL

Perú en el 2008 fomenta la utilización de los recursos energéticos renovables (RER) para la generación de energía eléctrica. Todo inició con un marco normativo especial que introdujo el mecanismo de subastas para la promoción de inversiones privadas y la adjudicación de proyectos de RER. Este marco normativo define como RER a las fuentes de energía solar, eólica, de biomasa, de geotermia, mareomotriz y las pequeñas fuentes hidráulicas con una capacidad instalada de 20 MW; éste se encuentra respaldado por la Ley de Promoción de la Inversión para la Generación de Electricidad con el Uso de Energías Renovables (Decreto Legislativo N°1002), el Reglamento de la Generación de Electricidad con Energías Renovables (Decreto Supremo, D.S., N° 012-

2011-EM²), y el Reglamento para la Promoción de la Inversión Eléctrica en Áreas No Conectadas a la Red (D.S. N° 020-2013-EM). En 2014, se realizó la Evaluación del Estado de Preparación de las Energías Renovables (RRA) en América Latina, en conjunto con la Agencia Internacional de las Energías Renovables (Irena). La evaluación realizada concluye que el Perú ha alcanzado un gran avance en el desarrollo de las subastas de energías renovables, y que posee además un gran potencial en los diferentes RER, tales como la energía hidroeléctrica, fuerza eólica, energía solar, geotérmica y la biomasa, los cuales no han sido aprovechados en su totalidad. Perú tiene posibilidades de instalar centrales eléctricas convencionales de biomasa con una capacidad de 177 MW y centrales de biogás con una capacidad de 5,151 MW (Mendoza, 2012). Actualmente el Perú posee 32 centrales de RER en operación comercial, donde dos de ellas son centrales de biogás (Huaycoloro de 3.4 MW y La Gringa de 3.2 MW) y dos de ellas son plantas de (Paramonga de 23 MW y Maple Etanol de 37.5 MW).

Tabla 2

Centrales de Biomasa en Perú

Central	Ubicación	Potencia	Descripción
Central de Paramonga	Lima - Paramonga	23 MW	Central de cogeneración que utiliza el bagazo de la azúcar como fuente de energía para la generación de energía eléctrica, posee una producción anual estimada en 115 GWh. Producción anual aproximada de 28 GWh,
Central de Huaycoloro	Lima - Huarochirí	3.4 MW	constituida por 250 pozos de captación de biogás. La fuente de energía proviene de las plataformas del relleno sanitario Huaycoloro.
Central de La Gringa V	Lima - Huarochirí	3.2 MW	Producción anual estimada de 14 GWh, constituida por 250 pozos de captación de biogás y un gasoducto de más de 15 km.

Central de Maple				Central de cogeneración que utiliza el bagazo de la azúcar como fuente de energía para la generación de energía eléctrica y se ubica dentro de la planta de Etanol.
Etanol	Piura - Paita	37.5 MW		

Nota. Elaboración propia

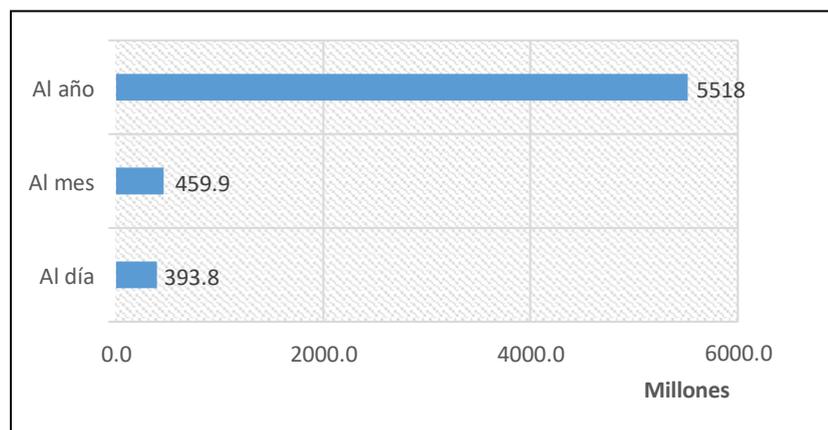
Como se observa en la tabla 2, la fuente de energía para generar biogás es el bagazo de la azúcar y la energía proveniente de las plataformas de relleno sanitario, estos materiales orgánicos funcionan excelentemente y han dado buenos resultados, pero se debería considerar también emplear los residuos sólidos urbanos generados como fuente energética para la producción de biogás. De acuerdo con el informe demográfico realizado por las Naciones Unidas, la población mundial en el 2017 fue de 7,550 millones de personas, con este crecimiento poblacional también hubo un incremento en la generación de residuos sólidos urbanos. Según un estudio realizado en Latinoamérica, la cantidad de desperdicios generados al día por persona es de 0.63 kg; en América se tiene una población de 625 millones de personas, la cantidad de desperdicios por día escalaría a la suma de 393.7 millones de toneladas, al mes 459.9 millones y al año la abismal cantidad de 5 billones 518 millones de toneladas. El Perú no es impropio a esta realidad, la cantidad de residuos sólidos que se generan al año es de 7.5 millones de toneladas, en un día alrededor de 20 mil toneladas y por hora casi mil toneladas. Puesto que en el país existe una pobre cultura de reciclaje, estos residuos sólidos no son procesados en su totalidad para poder beneficiarse de ellos generando recursos energéticos limpios.

En abril del 2018 en Perú, se promulga la Ley Marco sobre el calentamiento global asumiendo el compromiso de desarrollar tecnologías que enfrenten el cambio climático (Ley N°30754). El gobierno asumió de esta manera el reto de invertir en proyectos ecológicos, siendo esto beneficioso para el medio ambiente y para el

crecimiento del país, ya que “un país climáticamente responsable es un país que mira hacia el futuro” (Vizcarra, 2018). En ese mismo año, el grupo parlamentario Fuerza Popular, a iniciativa del congresista Israel Lazo Julca propuso el proyecto de ley, que declaraba impulsar la promoción y el desarrollo de plantas de tratamiento bioenergéticas en los gobiernos locales para diversificar el portafolio de opciones productivas (Proyecto de Ley N° 3198/2018 – CR). Bajo esta perspectiva y a manera de impulsar el crecimiento de las energías renovables, se propuso desarrollar proyectos sobre diseño de plantas de biogás mediante biodigestores para poder manejar las aguas residuales, los residuos sólidos y los residuos orgánicos producidos por el país.

Figura 16

Cantidad de residuos sólidos generados en Latinoamérica



Nota. Elaboración propia

PETROLEO EN TIEMPOS DEL COVID 19

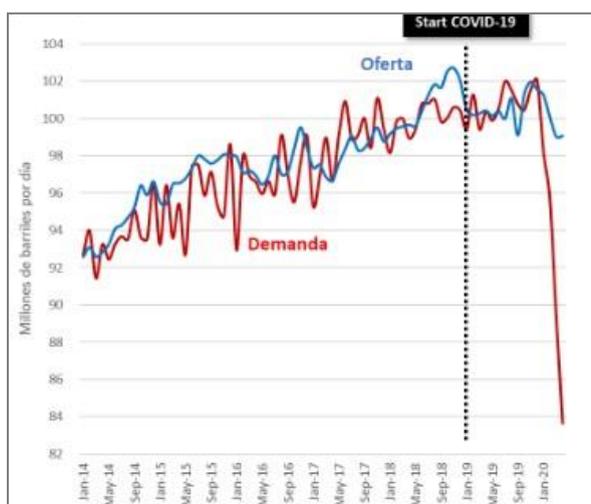
El petróleo es una mezcla de hidrocarburos insolubles en agua, tiene un olor característico el cual depende de la naturaleza y composición; este es menos denso que el agua. Las aplicaciones del petróleo tal como mana del pozo son pocas, este pasa por diferentes procesos para obtener sustancias líquidas derivadas tales como gasolinas, queroseno,

fuelóleo; también se tienen sustancias gaseosas como metano, etano, propano y butano; finalmente como sustancias sólidas se tienen las parafinas y los alquitranes. Este recurso se emplea como combustible doméstico e industrial, carburante, lubricante y materia prima básica en la industria petroquímica. La utilización como materia prima en la industria petroquímica es de 60% en productos químicos y el 80% del sector orgánico.

A raíz de la pandemia causada por el COVID 19, diferentes países exportadores de este recurso no renovable se han visto afectados dado que el precio del barril ha decaído dadas las medidas que fueron tomadas por los diferentes dirigentes de cada nación, esto ha repercutido en gran medida y de manera súbita a los ingresos fiscales que se obtenían del crudo. El precio del barril del crudo ha llegado a descender un 70% en el 2020, esto dado que la demanda ha caído en al menos 18 millones de barriles diarios a causa de la pandemia que se vive en la actualidad, esta cifra es equivalente al 20% de la demanda mundial. El crudo se cotizaba antes del COVID-19 en 60 dólares el barril, luego del COVID-19 este se llegó a cotizar en 20 dólares el barril.

Figura 17

Producción del petróleo



Nota. Fuente (Sucre, 2020)

Es importante mencionar la significancia que tiene el sector de los hidrocarburos y minerales con la economía global, sacando un valor promedio este sector representa más del 25% de los bienes exportados por la región. Para los países productores como Colombia, Venezuela, Trinidad y Tobago las cifras alcanzan un 98%, 60% y 57% respectivamente.

Según el Banco Central de Reserva del Perú, las exportaciones tradicionales se elevaron a US\$ 4,269 millones en marzo, esto se resumen en un 21% mayor respecto a lo registrado en marzo 2021. De acuerdo a su informe, las ventas al exterior de productos tradicionales acumularon un valor de US\$ 12,330 en los tres primeros meses, esto quiere decir un 22.3% superior a las registradas en el mismo periodo del año 2021, esto reflejo principalmente del incremento de las cotizaciones de los metales, el gas natural y del petróleo crudo.

Figura 18

Exportaciones tradicionales

Exportaciones tradicionales (Millones US\$)						
	Marzo			I Trimestre		
	2021	2022	Var. %	2021	2022	Var. %
Total	3 517	4 269	21,4	10 084	12 330	22,3
Pesqueros	243	355	46,2	775	781	0,7
Agrícolas	13	69	415,8	69	327	371,6
Mineros ^{1/}	3 062	3 107	1,5	8 583	9 365	9,1
Petróleo y derivados	132	201	51,7	350	576	64,9
Gas natural	66	537	710,7	306	1281	318,4

Nota. Fuente (PERÚ B. C., 2022)

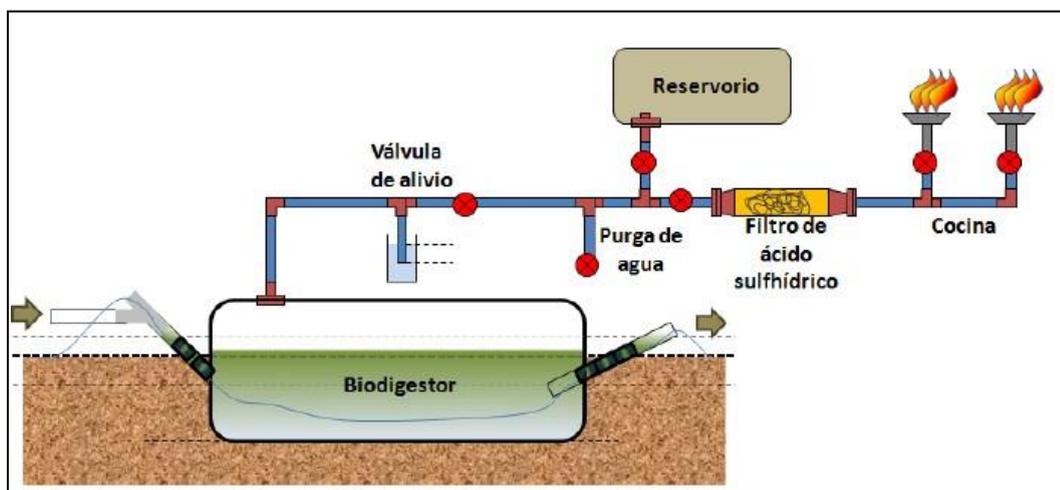
BIODIGESTORES

Concepto de un biodigestor

Los biodigestores son contenedores o tanques cerrados, herméticos e impermeables; entre sus principales componentes se tiene la cámara de carga y descarga, válvulas de seguridad, tuberías de captación de gas, quemador de gas, tanque o depósito para almacenar el gas, manómetros, filtros de remoción de H₂S bombas de alimentación. La mezcla del sustrato y el agua se depositan en el biodigestor, aquí sucede la fermentación orgánica, los microorganismos metanogénicos se encargan de la producción del biogás y el biol. En la actualidad se tienen diferentes tipos de tecnologías, por lo que no se podría tener una forma estándar de clasificar los biodigestores, algunos se diferencian por el tamaño, otros por las características (modalidad de carga, contenido de materia seca de la mezcla de alimentación, grado de mezclado, etc.), y también por el nivel tecnológico que posean. Pero no existe una tecnología mejor que otra, esta depende de diferentes factores como el objetivo del diseño, los recursos libres para uso, la liquidez de la que se pueda disponer y el tipo de sustrato que se empleará. Entre las clasificaciones se tienen biodigestores de flujo discontinuo, semicontinuo y continuo. El presente trabajo de investigación se enfoca en el diseño de un biodigestor familiar rural de bajo costo (flujo semicontinuo), el cual permitiría a los hogares de las zonas rurales de la ciudad de Arequipa aprovechar el recurso obtenido de la fermentación orgánica.

Figura 19

Esquema básico de todos los componentes que integran un biodigestor familiar



Nota. Tomado de (Martí Herrero, 2019)

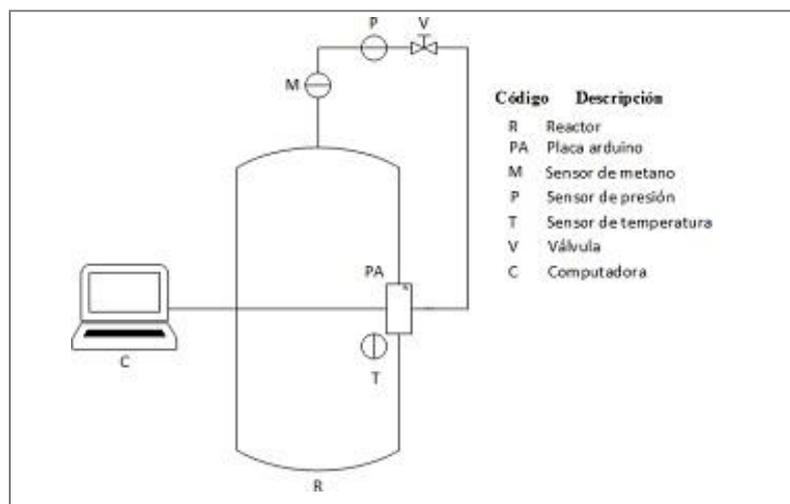
Según el artículo de (RAMÍREZ-COUTIÑO, Septiembre 2017), es posible monitorear los diferentes parámetros que intervienen en un biodigestor para la producción de biogás, parámetros como la concentración de metano producido, la temperatura del sistema y la presión de descarga. Para el control de estos parámetros emplearon 03 sensores, de los cuales uno midió la concentración de metano, otro midió la temperatura del sistema y el tercero midió la presión del producto final (biogás).

De acuerdo al ensayo que se realizó durante 20 días, se concluye que en el día 13 las variaciones de concentración de metano se mantienen con una variación muy ligera, es decir, alcanza su pico máximo, a partir de allí es necesario introducir una nueva mezcla de sustrato a la entrada del biodigestor. Con respecto a la temperatura del sistema considerando que el biodigestor es hermético, al llegar al día 13 presenta una variación ligera lo cual permite que la producción de biogás no se interrumpa ni se reduzca. La presión según se observa la figura 20, en los días iniciales comienza a incrementar hasta llegar a un valor máximo de 9 kPa, esta presión se alcanza en el día 13, a partir de allí se

mantiene teniendo una variación reducida lo cual se traduce en un sistema estable. Es muy necesario mantener las condiciones externas constantes durante la generación del biogás, dado que variaciones altas causarían inestabilidad en el sistema.

Figura 20

Medición de parámetros de un biodigestor

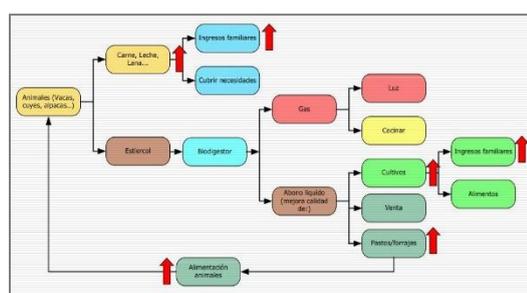


Nota. Fuente (RAMÍREZ-COUTIÑO, Septiembre 2017)

Este sistema realizado por (RAMÍREZ-COUTIÑO, Septiembre 2017) nos permite medir los parámetros principales de un biodigestor para que de esta forma se pueda evaluar la eficiencia del sistema, la eficiencia de la materia orgánica empleada y el tiempo en el que la producción de biogás es mayor.

Figura 21

Diagrama de flujo de un biodigestor



Nota. Fuente (SOLUCIONES PRÁCTICAS, 2011)

Biodigestores familiares

Estos biodigestores son de bajo costo, lo cual implica una baja tecnología; algunos no cuentan con un sistema de agitación continua, ésta se realiza de manera manual con manivelas o palancas, en otros casos se aprovecha la misma carga del biodigestor para realizar la agitación. La temperatura en estos biodigestores depende de la temperatura ambiente, ya que estos sistemas no cuentan con un sistema de calefacción, sin embargo, en algunos biodigestores se le acopla un invernadero para suministrar calor al sistema aprovechando la energía solar. Para este tipo de tecnología se tienen dos tipos de biodigestor, el modelo taiwanés o tubular y el modelo chino o de domo fijo.

Modelo taiwanés o tubular

Los biodigestores taiwaneses o tubulares son construidos con plásticos de polietileno de doble capa o con geomembranas de PVC, EPDM y PDA. Los plásticos de polietileno por lo general duran de 5 a 7 años con un buen cuidado y protección; y las geomembranas tienen una durabilidad de 10 a 15 años, el espesor de las geomembranas debe ser mayor de 0.75 mm. La forma de estos biodigestores es tubular y van semienterrados al nivel del piso, de esta manera se aprovecha la radiación solar que mantiene estable la temperatura del sistema. Una de las ventajas como se muestra en la tabla 3, es la facilidad de instalación ya que no toma más de un día en realizarla. Las presiones de trabajo son bajas, rondan entre 5 cm y 15 cm de columna de agua; y como no cuentan con un sistema de agitación, la relación de sustrato – agua es de 1:3, se puede emplear el fertilizante líquido producto de la mezcla cuando no se disponga de agua.

Figura 22*Biodigestor tubular construido con PVC*

Nota. Adaptado de *Biodigestores tubulares de plástico (Ecuador)*, Fuente (Martí Herrero, 2019)

Tabla 3*Ventajas y Desventajas del Biodigestor Tubular*

Ventajas	Desventajas
Fácil instalación y puesta en campo.	Se necesita proteger el área para evitar fugas y daños.
Materiales accesibles y con costos bajos.	Las presiones de la red no son tan altas.
La vida útil promedio es larga.	Emplean mayores cantidades de agua a comparación de otras tecnologías.

Nota. Fuente *Elaboración propia*

Modelo chino o de domo fijo

Los biodigestores del tipo chino o domo fijo son construidos con cemento y ladrillo, dado los materiales de su construcción, el transporte y mano de obra para la instalación son costosas, pero son más durables, por lo general el tiempo de vida es de 20 años. Se trata de dos tanques, uno es hermético y cerrado, el cual se encuentra enterrado, aquí es donde se lleva a cabo el proceso de digestión y se captura el biogás; el otro se

encuentra semienterrado y es abierto, se emplea como tanque de compensación debido a que cuando las presiones del biogás aumentan, se llega a desplazar parte del lodo a este tanque, pero cuando se utiliza el biogás y baja la presión, el lodo desplazado regresa al tanque principal formando así una especie de sistema de agitación. Este biodigestor se emplea mayormente en climas tropicales y cálidos dado que en climas fríos la temperatura desciende y el proceso de digestión llega a tener un retraso significativo. Las presiones de trabajo suelen alcanzar el metro de columna de agua, y la relación de sustrato y agua es de 1:1.

Figura 23

Biodigestor tipo chino



Nota. Tomado de *Guía teórico – práctica sobre el biogás y los biodigestores*, Fuente (FAO. , 2019)

BIOGÁS

El biogás es el gas resultante de la digestión anaerobia de la materia orgánica, su composición depende de parámetros tales como, el tipo de sustrato empleado en la digestión, la temperatura del proceso, y la tecnología de diseño. El poder calorífico viene determinado por la composición del biogás, según esta habría una variación en la

cantidad de energía que puede liberar la unión química entre un combustible y un comburente; entre los principales elementos se tienen: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), hidrógeno (H_2), nitrógeno gaseoso (N_2), oxígeno (O_2), y agua (H_2O). El componente principal es el metano, este varía desde un 50% al 65%, en la tabla 4 se muestran los parámetros del biogás con metano al 65%, el valor calorífico es menor en contraste con las otras fuentes de energía, pero este valor es aceptable para emplearlo en sus diferentes aplicaciones tales como, generación de energía térmica (calor) o vapor para utilizarlo en calderas, generación de energía eléctrica y como combustible en los motores de combustión interna; dependiendo de su aplicación, las exigencias de calidad del biogás varían, es por ello que existen métodos para purificar el biogás obtenido y de esta manera remover las impurezas existentes, así el producto final sería el biometano.

Tabla 4

Biogás vs Otras Fuentes de Energía

Parámetros	Biogás*	Gas Natural	Gas Propano	Gas Metano
Valor calorífico (kWh/m ³)	7.0	10	26	10
Densidad (t/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72
Densidad con respecto al aire	0.90	0.54	1.51	0.55
Límite de explosión (% gas en el aire)	6 – 12	5 – 15	2 – 10	5 – 15
Temperatura de encendido	687	650	470	650
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47
Requerimiento teórico de aire (m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5

Nota. * Composición promedio del biogás (65% CH_4 – 35% CO_2), Adaptado de *Manual del Biogás*, Fuente (FAO, 2011)

PROCESO DE DIGESTIÓN

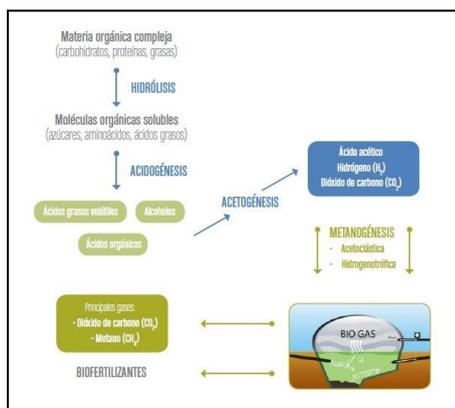
El proceso de digestión es un proceso netamente biológico, existen dos tipos de digestión, aeróbica y anaeróbica. La digestión aeróbica es utilizada para el tratamiento de lodos debido a la oxidación que se presenta durante el proceso. Es la digestión anaeróbica la que produce el biogás y el biol; en ausencia del oxígeno los microorganismos descomponen la materia orgánica depositada en el biodigestor formando diversos gases entre los cuales está el CH_4 y CO_2 (componentes principales del biogás).

Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso que se da en ausencia del oxígeno, las bacterias descomponen la materia orgánica formando diversos gases. La calidad de los subproductos obtenidos depende de ciertos parámetros, entre los más resaltantes se encuentran el pH y la temperatura del sistema, debido a que los microorganismos son sensibles a las variaciones de temperatura y a los cambios de acidez. Como se observa en la figura 24, existen 3 etapas de digestión anaeróbica, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

Figura 24

Etapas de digestión anaeróbica



Nota. Fuente (FAO. , 2019)

Hidrólisis. En esta etapa la materia orgánica se descompone en cadenas largas, de esta manera se obtienen los productos intermedios. Esto sucede por acción de las bacterias hidrolíticas, las cuales hidrolizan las moléculas solubles en agua, tales como proteínas, carbohidratos, grasas transformándolas en polímeros más simples. La hidrólisis, en resumen, es la conversión de los polímeros en sus respectivos monómeros, durante esta etapa ya hay producción de CO_2 . El valor del grado de acidez puede bajar hasta 4.5 dependiendo del tiempo de retención hidráulico y del tipo de sustrato, es importante mencionar que el valor óptimo del grado de acidez vendría a ser de 5.3 a 6.7.

Acidogénesis y acetogénesis. Los productos resultantes de la hidrólisis son procesados y liberan tres compuestos muy importantes para la siguiente etapa, hidrógeno molecular (H_2), acetato (CH_3COO) y dióxido de carbono (CO_2). Las bacterias fermentativas ácido génicas se encargan de convertir azúcares en aminoácidos y lípidos en ácidos orgánicos, alcoholes en cetonas, CO_2 y H_2 , destacando el *Clostridium* como el microorganismo que se encuentra realizando este proceso, aunque, el *Lactobacillus* y *Bacillus* también cumplen la misma función. (Lucia Constanza Corrales MSc, 2015)

Metanogénesis. Este grupo de bacterias metanogénicas, son las más importantes debido a que actúan sobre los productos obtenidos en las etapas anteriores y forman el metano con dos átomos de carbono unidos por enlace covalente.

Tipos de bacterias

Bacterias Hidrolíticas. Las bacterias hidrolíticas son un grupo de bacterias que tienen como objetivo romper los enlaces complejos de celulosa, proteínas, lignina o lípidos en monómeros o moléculas como aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol (Lucia Constanza Corrales MSc, 2015).

Bacterias Acetogénicas. Estas bacterias se desarrollan como productoras de H_2

junto a otras bacterias consumidoras de este elemento. *Syntrophobacter wolinii*, es la bacteria especializada en la oxidación de propionato, y *Syntrophomonas wolfei*, es la bacteria que oxida ácidos grasos de 4 a 8 átomos de carbono, convierten el propiónico, butírico y algunos alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, el cual se utiliza en la etapa de la metanogénesis (Lucia Constanza Corrales MSc, 2015).

Bacterias Metanógenas. Las metanógenas son microorganismos procariontes que viven en medios estrictamente anaerobios, obtienen energía mediante la producción de metano (CH_4). Debido a esta particular característica, esta bacteria posee una gran importancia en la ecología, dado que interviene en la descomposición de la materia orgánica existen en la naturaleza y también en el ciclo del carbono.

Conforme al análisis filogenético del ARN ribosómico 16S, estas bacterias están clasificadas en el grupo de los procariontes, y en el subgrupo de las arqueas. Esto se asevera al ver que las metanógenas son microorganismos unicelulares sin núcleo definido y su pared celular no es de peptidoglucano como la de las bacterias, sino de pseudomureína. De manera más clara, en el dominio Archaea, existen cuatro filos diferentes: el filo Crenarchaeota, formado por especies marinas y por hipertermófilos, el filo Korarchaeota constituido hasta donde sabemos por termófilos, el filo Nanoarchaeota que comprende una sola especie y el filo Euryarchaeota, donde justamente se encuentran las metanógenas y los halófilos extremos.

Actualmente, se conocen cerca de sesenta especies diferentes de metanógenas, y a pesar de constituir un grupo filogenético coherente, este grupo no es homogéneo. Existen grandes diferencias fisiológicas y morfológicas entre ellas. Por este motivo se han hecho cuatro subdivisiones, formando las siguientes clases: Methanobacteria, Methanococci, Methanomicrobia y Methanopyri. Estas clases se subdividen en órdenes y familias; de la

misma forma, las familias se dividen en géneros, y después en especies. Lo interesante es que en cada familia y hasta en cada género, encontramos organismos con morfología diferente, por ejemplo, dentro de la familia Methanomicrobiaceae hay metanógenas en formade cocos, de espiral y de bastón. De la misma forma, dichos microorganismos se encuentran en diferentes ambientes, y, por ende, tienen metabolismos diferentes, al reducir sustratos diferentes para obtener metano. Los hábitats comunes de estas bacterias son los sedimentos acuosos, hábitats marinos, animales rumiantes, termitas, y otros animales.

Co-digestión

En los biodigestores en general, existe una manera de mezclar los sustratos de entrada quealimentan el biodigestor. Sin embargo, el realizarlo de una manera incorrecta podría ser perjudicial para el reactor debido a que causaría lo siguiente:

1. Durante la fase de la hidrólisis, los microorganismos hidrolizarían de manera rápida las proteínas, grasas y carbohidratos (estas son moléculas de alto peso y complejas).
2. Los microorganismos acidogénicos consumen el alimento altamente digestible y alcanzan un nivel de reproducción rápido, el cual les permite liberar en un corto tiempo ácidos al medio en el que se encuentran, causando de esta manera un medio anóxico.
3. En la siguiente etapa, las bacterias metanogénicas comienzan a consumir el ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno, y comienza la producción de biogás. Sin embargo, la tasa de producción es inferior a la de generación de ácidos, esto sucede por las bajas velocidades de crecimiento.
4. Por la producción de ácidos, el medio tiende a acidificarse, causando que el metabolismo de los microorganismos metanogénicos disminuya, así como también,

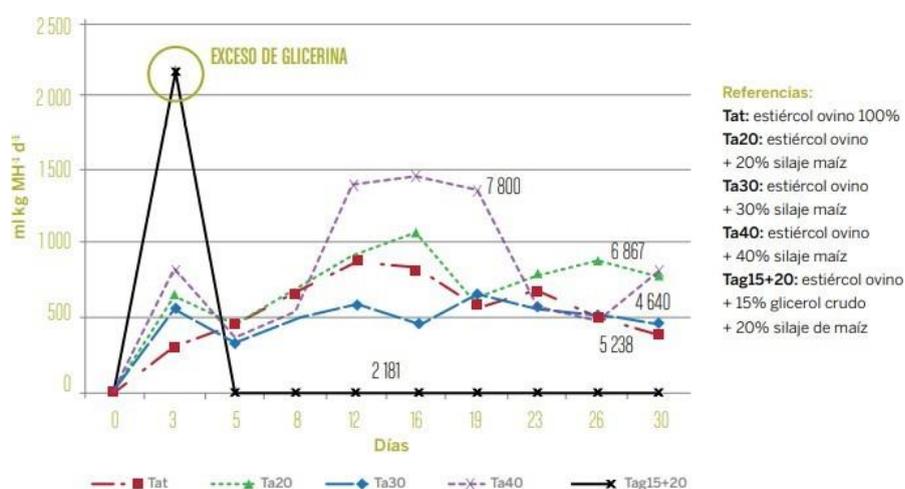
su reproducción y actividad, dado que son significativamente sensibles a la variación de pH.

5. Como consecuencia final, el biodigestor deja de generar biogás y se puede observar una disminución marcada del pH (valores por debajo de 5).

Por ello, para realizar una codigestión se tiene que hacer un seguimiento y controlar el proceso para evitar de esta manera que los sucesos mencionados anteriormente se lleven a cabo. En la Figura 25, se puede analizar la influencia de los diferentes sustratos suministrados y como afecta esto en la producción de biogás. El proceso de codigestión no es más que la mezcla de diferentes sustratos. Si esta herramienta se maneja y controla de manera adecuada, la eficiencia de la digestión y la producción de biogás se maximizan.

Figura 25

Producción de biogás en laboratorio en función del tiempo para distintos tratamientos



Fuente: Della Vecchia (2010).

Nota. Fuente. (FAO., 2019)

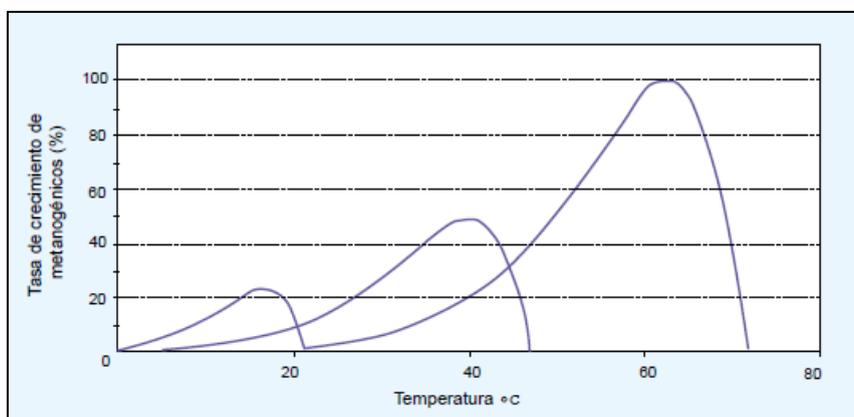
PARÁMETROS DEL SISTEMA

Temperatura del sistema y tiempo de retención hidráulico

En el proceso de digestión, el parámetro más importante es la temperatura, dado que los microorganismos metanogénicos dependen de ella, ésta afecta directamente a la velocidad de crecimiento de las bacterias, por consecuente se vería afectado el tiempo de retención de los sustratos en el biodigestor. Existen 3 rangos de temperatura en los cuales los microorganismos podrían producir biogás (psicrófilos, mesófilos y termófilos).

Figura 26

Velocidad de crecimiento de los microorganismos metanogénicos en los diferentes rangos de temperatura



Nota. Fuente (Speece, 1996)

El tiempo de retención hidráulico (TRH) depende directamente de la temperatura del sistema, como se muestra en la Tabla 5, un TRH menor del sistema sucede cuando se tiene una temperatura del sistema en el rango termófilo, esta se tendría que mantener por encima de los 50°C para que la producción del biogás no se vea afectada. Normalmente los biodigestores tubulares domésticos alcanzan temperaturas que operan entre rangos psicrófilos y mesófilos debido a la tecnología de su diseño.

Tabla 5

Rangos de Temperatura y Tiempos de Retención Hidráulico

Fermentación	Mínimo (°C)	Óptimo (°C)	Máximo (°C)	Tiempo de Fermentación (días)
Psicrophilica	4 – 10	15 – 18	20 – 25	Sobre 100
Mesophilica	15 – 20	25 – 35	35 – 45	30 – 60
Termophilica	25 – 45	50 – 60	75 – 80	10 – 15

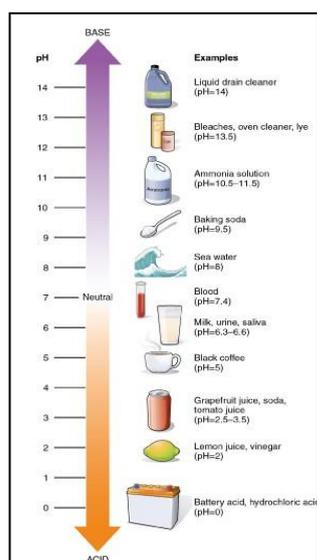
Nota. Variación del tiempo hidráulico en función de la temperatura, Fuente (Lagrange, 1979)

Grado de acidez

El grado de acidez se representa por el valor que obtenga el *pH*, este es un número que mide el grado de acidez o alcalinidad de una determinada solución, juega un papel muy importante en la producción de biogás, ya que los microorganismos metanogénicos no producirían el subproducto si se encontrasen en un rango de 5.5 – 6.5; el rango óptimo para estas bacterias es de 7 – 7.8 (Babae y Shayegan, 2011). Este parámetro puede variar en el proceso de acuerdo al tipo de sustrato a emplear y al tipo de agua que se mezclará con la materia orgánica.

Figura 27

Clasificación de los niveles de pH



Nota. Fuente (USGS, s.f.)

Tipo de sustrato

Toda materia orgánica que entra al biodigestor se considera como un sustrato (residuos orgánicos, estiércol de humano, estiércol de animales, residuos vegetales, residuos de frutos, etc.); estos se caracterizan por diferentes parámetros, entre los más relevantes se tienen los sólidos totales (ST) y los sólidos volátiles (SV). Ambos parámetros son obtenidos de ensayos realizados en laboratorios y están tabulados como es el caso del estiércol de los animales.

Sólidos Totales. Los sólidos totales (también llamados materia seca), son la fracción de los sustratos que se encuentran ausentes de agua, estos a su vez se conforman de dos tipos de sólidos (inertes y volátiles). Generalmente estos se encuentran en una proporción de 15% – 25% (inertes) a 85% – 75% (volátiles). Para la generación de biogás un indicador es la cantidad de ST, pero tener un número alto de ST no implica necesariamente que se tiene un buen potencial para producir biogás, para esto se tienen que evaluar los sólidos volátiles (SV).

Sólidos Volátiles. Los SV (sólidos volátiles) están relacionados directamente con la producción de biogás, conociendo este parámetro se podría indicar que tipo de sustrato y tecnología se podría emplear para el diseño del biodigestor. El % SV representa la cantidad de la materia orgánica sin secar (base húmeda) o bien un porcentaje de los ST. Es muy importante el sistema de recolección de la materia orgánica a emplear, debido a que en muchos casos se tiene material inerte en el biodigestor, y este influye en la eficiencia del sistema y en el desgaste de los equipos de digestión.

Tabla 6

Características Fisicoquímicas del Estiércol Animal

Estiércol	% ST	SV (% ST – base seca)	% SV (base húmeda)
Cerdo	20 – 35	60 – 75	12 – 26.25
Vaca	10 – 17	70 – 80	7 – 13.6
Cabra / Oveja	50 – 70	70 – 75	35 – 52.5
Llama	55 – 65	70 – 75	38.5 – 48.75

Nota. Fuente (Martí Herrero, 2019)

Relación C/N

La relación C/N es un parámetro que se encuentra presente durante todo el proceso de biodigestión, el carbono actúa como fuente de energía y el nitrógeno es utilizado por los microorganismos para la regeneración y crecimiento celular. Los valores óptimos van desde 20:1 a 30:1; si se tuviese exceso de carbono en el sustrato, la velocidad de fermentación sería lenta, las temperaturas del sistema serían bajas y se perdería un porcentaje de carbono, ya que sería transformado en CO₂; por el contrario, si hubiese nitrógeno en altas cantidades, este se transformaría en amoníaco y perjudicaría al proceso de fermentación. En la Tabla 7 se muestran las relaciones existentes de C/N para los diferentes tipos de sustrato. Se debe considerar que estos valores no son muy fiables dado que, aunque todo el nitrógeno presente en el sustrato sea biodegradable, solo una fracción del carbono lo es también.

Tabla 7

Relación C/N para los diferentes tipos de sustrato

Sustrato	C / N
Excretas bovinas	25 : 1
Excretas equinas	50: 1
Excretas ovinas	35: 1
Excretas porcinas	16: 1

Paja de trigo	87: 1
Rastrojo de maíz	53: 1
Hojas secas	41: 1
Mezcla de gramíneas follaje abundante	10: 1
Mezcla de gramíneas follaje en plena floración	20: 1
Mezcla de gramíneas follaje maduro	50: 1
Fardo de alfalfa	16: 1
Vísceras de frigorífico	15: 1
Harina de sangre	3 – 10: 1
Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (RSU)	11 – 30: 1

Nota. Fuente (Dalzell, 1991) ; (Belaustegui, 1996) ; (Arellano, 1990)

Carga diaria

La carga diaria es la mezcla entre la cantidad de sustrato disponible y el agua. Para el estudio, se debe considerar si el ganado se encuentra estabulado durante todo el día, por una noche o si solo se estabulan por horas; de acuerdo a cada situación la cantidad de estiércol disponible para la mezcla variaría.

Para el cálculo de la cantidad de estiércol disponible (E_d) se empleará la siguiente ecuación:

$$E_d = \text{Estiércol diario} * \left(\frac{\# \text{Horas Estabulados}}{24} \right) \quad (1)$$

En el caso de que el ganado se encuentre estabulado durante toda la noche, el estiércol disponible será el 25% de la cantidad de estiércol diario. En la tabla 8 se muestra la variación de la relación de estiércol y agua de acuerdo al tipo de ganado.

Tabla 8

Relación de Estiércol y Agua para la Carga Diaria

Animal	Relación estiércol - agua
Vaca	1: 3
Cerdo	1: 4
Llama	1: 8 - 9
Oveja	1: 8 - 9
Cuy	1: 8 - 9

Nota. Tomado de (Martí Herrero, 2019)

Volumen del biodigestor

El biodigestor que se elegirá para el diseño en el presente trabajo de investigación será un biodigestor tubular tipo salchicha, dados los costos bajos de instalación y fabricación; el material que se emplearía en la fabricación sería geomembranas de PVC, este material a comparación de las otras geomembranas existentes en el mercado, es más resistente a la radiación solar y de mayor accesibilidad. El volumen del biodigestor es el espacio donde ocurrirá la digestión por los microorganismos bacterianos y la formación de biogás.

Este parámetro se define por la siguiente ecuación:

$$V_T = V_L + V_G \quad (2)$$

Donde:

$V_L = \text{Volumen líquido}$

$V_G = \text{Volumen gaseoso}$

El volumen líquido es la parte del reactor donde se encontrará la mezcla de carga diaria (sustrato – agua) que será suministrada a la entrada del biodigestor.

Se define el volumen líquido por la siguiente ecuación:

$$V_L = CD * TRH \quad (3)$$

Donde:

$CD = \text{Carga Diaria}$

$TRH = \text{Tiempo de Retención Hidráulico}$

El volumen gaseoso del reactor es el espacio que ocupará el biogás producido por los microorganismos metanogénicos, es recomendable la empleabilidad de un gasómetro conectado al reactor, ya que, de acuerdo a la cantidad de carga diaria disponible y la demanda de biogás por los hogares en las zonas rurales, es necesario almacenar el biogás evitando de esta manera daños en el biodigestor con los excesos de presión.

Es importante mencionar que el volumen líquido del biodigestor se relaciona también con el área de la zanja donde descansará mediante la siguiente ecuación:

$$V_L = A_z * L \quad (4)$$

Donde:

$A_z = \text{Área de la zanja}$

$L = \text{Longitud del biodigestor}$

Como se observa, el volumen líquido total se define también por el área de la zanja y la longitud del biodigestor. Dada la forma tubular del biodigestor, la relación L/D definirá por medio de un proceso iterativo el radio y la circunferencia de la manga. Según Martí Herrero, esta relación debería encontrarse entre 5 y 10, el L/D óptimo vendría a ser 7. Se definen esos valores de selección, dado que, si la relación estuviese por debajo de 5, el biodigestor tendría una longitud muy corta, la cual causaría que la carga diaria alcance la salida en un tiempo menor al establecido afectando directamente al sub producto final

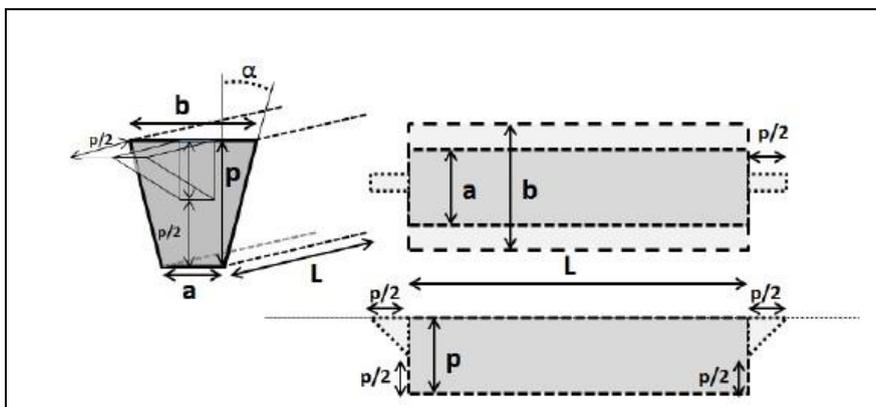
(biogás). Por otro lado, si el valor estuviese por arriba de 10, el biodigestor sería muy largo y causaría que se formen lodos aproximadamente por la mitad del reactor.

Dimensionamiento de la zanja

Los biodigestores tubulares fabricados de geomembranas de PVC, polietileno o polipropileno, por su diseño deben asentarse en una zanja, esta dependerá del volumen líquido del biodigestor. La zanja deberá ser de forma trapezoidal con un ángulo de inclinación (α°) de acuerdo al tipo de terreno existente.

Figura 28

Esquema de dimensionamiento de una zanja para biodigestores tubulares



Nota. Tomado de (Martí Herrero, 2019)

Dada su forma trapezoidal, la superficie se define como el cálculo del área de un trapecio:

$$A_{zanza} = p * \frac{(a+b)}{2} \quad (5)$$

Gasómetro

El gasómetro sirve para almacenar el gas que pudiese estar disponible mas no requerido, existen diferentes tipos de gasómetros como los tambores flotantes, los de

domo combinado y los de geomembranas. Éste último debido a su bajo costo y fácil instalación es de uso común en este tipo de sistemas; para este tipo de material (geomembranas de PVC), según (Hees, 1989), la presión interna permisible para el gasómetro sería de 42 mbar, este dato se debe tener en cuenta para evitar daños y pérdidas durante el almacenamiento del biogás.

En la tabla 9 se muestra la producción de biogás de acuerdo al tipo de estiércol, la temperatura del sistema y el tiempo de retención hidráulico

Tabla 9

Producción de Biogás según la Temperatura y el TRH

Temperatura de Trabajo del Biodigestor	Estiércol de Vaca Fresco		Estiércol de Cerdo Fresco	
	THR (días)	Biogás (l/kg)	THR (días)	Biogás (l/kg)
33 – 37	30	39	25	71
28 – 32	40	38	30	67
23 – 27	50	35	35	61
18 – 22	65	33	50	59
13 – 17	90	31	65	54
8 – 12	125	29	90	50

Nota. Fuente (Martí Herrero, 2019)

Diseño de calefacción solar pasiva

El control de la temperatura es de suma importancia en los biodigestores, ya sean tubulares o de cualquier tipo. Existe un método que se emplean en los biodigestores tubulares para mantener la temperatura constante durante el proceso de digestión, este es el de aprovechar la energía solar a la cual están expuestos durante el día para así absorber ese calor y mantenerlo en el sistema. Existen 03 métodos de acuerdo a (Martí Herrero, 2019).

1. Colores oscuros en el material de construcción del biodigestor

Se puede utilizar geomembranas de color oscuras las cuales podrán absorber la radiación solar incidente, esta calentará la cúpula del reactor hasta 60° - 70°, parte de esta temperatura se distribuirá al biogás interior que a su vez calentará la mezcla de agua y estiércol. Se debe considerar geomembrana de polietileno de color oscuro para hacer como una especie de tanque al biodigestor, ya que si se expone directamente al sol se reduciría el tiempo de vida del material. Empleando este método se puede alcanzar elevar la temperatura de trabajo del biodigestor entre 2° y 3°C.

2. Aislante en las paredes y suelo de zanja

Este aspecto es fundamental dado que se trata de conservar el calor ganado por la mezcla interna de agua y estiércol. En caso se omita este aislante la temperatura de trabajo descendería a valores similares de la temperatura del suelo, lo cual perjudicaría la producción del biogás. Combinando este método y el anterior se podría alcanzar elevar la temperatura de trabajo del sistema entre 4° y 6°C.

3. Invernadero

La instalación de un invernadero como elemento de calefacción solar pasiva, sirve también como elemento de protección. Es necesario emplear invernaderos compactos donde solo una persona pueda ingresar, el fin es minimizar en lo que se pueda la superficie del invernadero para así evitar pérdidas de calor. Se puede emplear para las paredes adobe, ladrillo o planchas de policarbonato las cuales son efectivas.

De acuerdo a los antecedentes, se tiene que combinando los tres métodos se alcanzaría elevar la temperatura del sistema de 6° a 10°C.

Red de distribución

La red de distribución será contemplada desde la salida del biogás en el biodigestor hasta el gasómetro, luego pasará del gasómetro al punto de consumo que designe cada hogar de las zonas rurales. Se determinará el diámetro de tubería necesario para suministrar el caudal de biogás requerido de acuerdo a las necesidades de las familias, así como también, la presión requerida para un funcionamiento en buenas condiciones. En el presente trabajo de investigación se considerará una red de baja presión, dado que el sistema trabajará con presiones menores de 68 mbar (1psi), el material de la tubería será de PVC, dado que este es resistente a la corrosión, de fácil instalación y de menor costo.

Según la ecuación de Renouard Lineal, la variación de presión se define de la siguiente manera:

$$\Delta p = 23200 * \rho_r * L_e * QQ^{1.82} * D^{-4.82} \quad (6)$$

Donde:

Δp = Caída de presión en la red de tuberías (mbar)

ρ_r = Densidad relativa del biogás ($\rho_r = 0.9$)

L_e = Longitud equivalente de la red (m)

QQ = Caudal ($\frac{m^3}{hora}$)

D = Diámetro exterior de la tubería (m)

El caudal requerido por el sistema se evaluará de acuerdo a la demanda de energía de cada familia en las zonas rurales, en la tabla 10 se muestran los diferentes consumos

de biogás por hora de los distintos equipos. Para el cálculo del diámetro de la tubería se tomará como referencia la longitud equivalente y el caudal del sistema.

Tabla 10

Consumo de Biogás para Diferentes Equipos

Equipo	Consumo (l / h)
Cocina doméstica	300
Cocina industrial	450
Calefactores lechones	300
Lámpara (60W)	120
Olla arrocera (2 L)	140
Calefón de agua (14 kW)	2500
Calefón de agua (26 kW)	5000
Ordeñadora (15hp)	2500
Generador (3kW)	2100

Nota. Tomado de (Martí Herrero, 2019)

De acuerdo al esquema de la instalación, se debe calcular la longitud equivalente en cada tramo, para esto se debe considerar las pérdidas de presión en cada tramo, así como también, las pérdidas de presión por accesorios (válvulas, codos, tees, etc.). Se considerará como accesorios válvulas check, válvulas de alivio, tees, trampa de agua y un filtro de remoción de sulfuro de hidrógeno (H₂S), este último es utilizado mayormente en sistemas de generación de biometano (biogás purificado), sin embargo, el sulfuro de hidrógeno es uno de los compuestos del biogás que es recomendable eliminar o reducir, en relación a su composición y grado de concentración, este gas es altamente corrosivo y tóxico.

La longitud equivalente se define de la siguiente ecuación:

$$L_e = L_r + L_a \quad (7)$$

Donde:

L_e = Longitud equivalente de la red (m)

L_r = Longitud real de la red sin accesorios

L_a = Longitud equivalente de tubería de acuerdo a los accesorios

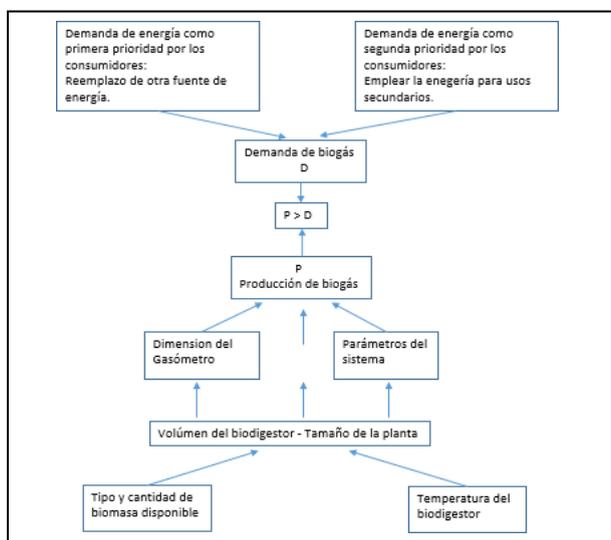
Balance de energía

Para realizar el balance de energía de la planta de biogás diseñada, se requiere de una estimación en cuanto a la calidad y cantidad del subproducto final. El potencial del biogás a generarse debe ser calculado en base al tipo de sustrato que se utilizará en el biodigestor y será comparado con la demanda de energía que tengan las familias en las zonas rurales del Distrito de Majes.

El cálculo del biogás generado está relacionado con el volumen del biodigestor y la cantidad de animales que se tenga, por ende, también está relacionado con el tipo de sustrato a utilizar. Por otro lado, la demanda de energía de las familias en las zonas rurales dependerá de la aplicación que se le dará al biogás generado, ya sea en estufas para cocción de alimentos, en lámparas para iluminación, en motores eléctricos para generación de energía eléctrica, etc.

Figura 29

Balace de energía requerida con el biogás producido



Nota. Adaptado de (Hees, 1989)

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Método de investigación

El método de investigación empleada en el presente trabajo es de carácter meta – análisis, puesto que se empleará datos obtenidos mediante ensayos y/o investigaciones de otros autores relacionados a la generación de biogás y diseño de biodigestores, así mismo, se enfocará el trabajo a las zonas rurales del Pedregal, Majes en el departamento de Arequipa.

Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo cuantitativo debido a que permite el análisis de los parámetros obtenidos del cálculo del diseño del biodigestor, basado en el análisis de los datos obtenidos se podría evaluar los objetivos planteados inicialmente.

Nivel de investigación

Investigación descriptiva

Se especificará los parámetros de diseño y consideraciones a tener en cuenta. Dentro de los parámetros más importantes se tiene el tiempo de retención hidráulico, la temperatura del sistema y el tipo de sustrato. Para este trabajo se considerará como sustrato el estiércol del ganado vacuno para alimentar el reactor. Para controlar la temperatura del sistema se considerará en el diseño un invernadero.

Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es de carácter documental, visto que se recolectará información de trabajos existentes relacionados al problema planteado y se tomarán como referencia para realizar el cálculo de diseño; para los parámetros atmosféricos, que son parte del diseño del biodigestor, se considerarán los pertenecientes a las zonas rurales en el Pedregal, localidad del Distrito de Majes de la ciudad de Arequipa.

CAPITULO IV

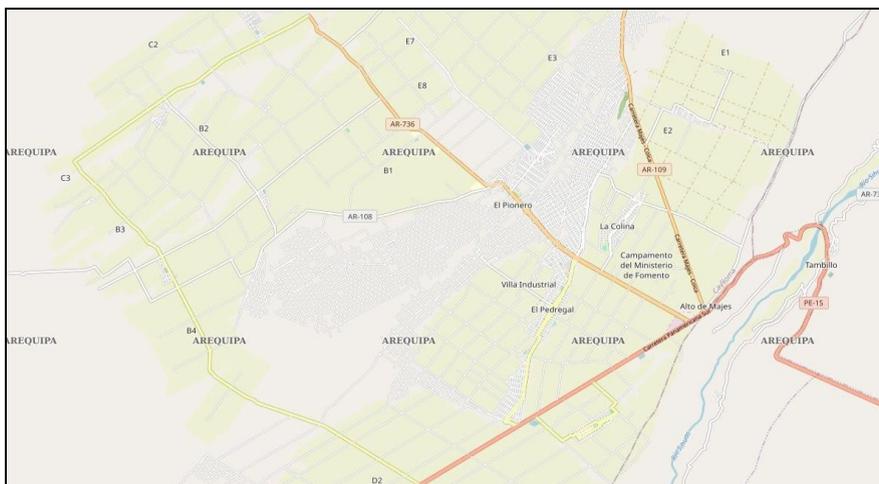
INGENIERÍA DEL DISEÑO

Ubicación

Para el presente trabajo de investigación se realizaron encuestas en la localidad del Pedregal, distrito de Majes, provincia de Caylloma, departamento de Arequipa. Los parámetros ambientales serán considerados para los que habitualmente se tiene en el Pedregal, distrito de Majes durante todo el año. Estos datos fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

Figura 30

Ubicación del Pedregal – Distrito de Majes

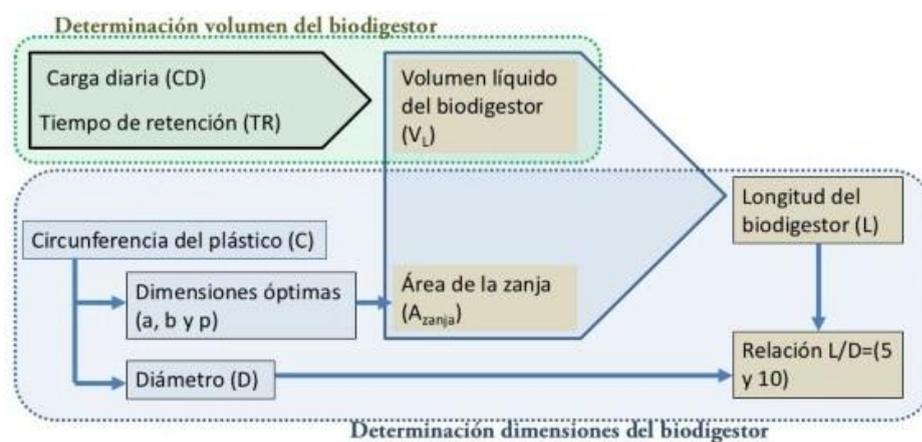


Nota. Tomado de (PERÚ S. , 2022)

Esta localidad se encuentra a 1,410 m.s.n.m, la temperatura varía de 22 a 25 °C durante el día y por las noches desciende a 13°C; estos datos fueron obtenidos del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). Para el diseño del biodigestor tubular se seguirá la metodología descrita en la Figura 31.

Figura 31

Metodología para el diseño de un biodigestor tubular



Nota. Tomado de (Martí Herrero, 2019)

Biogás requerido

Se realizaron encuestas a diferentes familias en la localidad del Pedregal, obteniendo los datos mostrados en la siguiente figura.

Figura 32

Cuestionario realizado a familias en Pedregal - Majes

ITEM	LISTA DE PREGUNTAS	FAMILIA 1	FAMILIA 2	FAMILIA 3	FAMILIA 4	FAMILIA 5
1	CANTIDAD DE ANIMALES	23	10	25	21	30
2	TIPO DE GANADO	Vacuno y porcino	Vacuno	Vacuno	Vacuno	Vacuno y porcino
3	TIEMPO DE ESTABULADO DE GANADO	Todo el día	Todo el día	Todo el día	Todo el día	Todo el día
4	ROTACIÓN DE GAS PROPANO	S/. 55 por mes	S/. 55 por mes	S/. 55 por mes	S/. 55 por mes	S/. 55 por mes
5	ACTIVIDADES DE IMPACTO EN SU ECONOMIA	Cultivo	Ganadería y jornales	Ganadería y cosecha	Cultivo	Cultivo
6	EMPLEO DEL ESTIERCOL	En terreno	Abono en cultivos	Abono en cultivos	Abono en cultivos	Abono en cultivos
7	AGUA TODO EL DÍA	04:00 a.m. a 05:00 p.m.	No se tiene agua todo el día	No se tiene agua todo el día	04:00 a.m. a 05:00 p.m.	04:00 a.m. a 05:00 p.m.
8	INGRESOS PROVENIENTES DE	Cada 06 meses Leche S/. 2000 Cosecha S/. 1000	Leche S/. 960	Cada 06 meses Leche S/. 1500 Cosecha S/. 2000	Cada 06 meses Leche S/. 1800 Cosecha S/. 1500	Cada 06 meses Leche S/. 2800 Cosecha S/. 1800
9	GASTO EN FERTILIZANTES QUÍMICOS	Se utiliza el estiércol como abono en los cultivos	Se utiliza el estiércol como abono en los cultivos	Se utiliza el estiércol como abono en los cultivos	Se utiliza el estiércol como abono en los cultivos	Se utiliza el estiércol como abono en los cultivos
10	CONOCE SOBRE BIOGÁS	Si, pero no lo emplean	No	No	No	No
11	EPOCA MAS FRIA Y TEMPERATURA	En los meses de mayo y junio	En los meses de mayo y junio	En los meses de mayo y junio	En los meses de mayo y junio	En los meses de mayo y junio
12	EMPLEO DE COCINA DIARIO	6 horas	5 horas	5 horas	7 horas	5 horas
13	EQUIPOS ELECTRICOS, ELECTRONICOS	Televisor, refrigerador y computadora	Refrigerador y televisor	Refrigerador y televisor	Generador, refrigerador y computadora	Laptop, refrigeradora y congeladora

Nota. Elaboración propia.

De acuerdo a los datos obtenidos en las encuestas, se observa que todas las familias encuestadas poseen ganado vacuno como activo principal dado que los ingresos económicos son provenientes de la venta de la leche y cosecha. Todos los hogares emplean el estiércol como abono en los diferentes cultivos; en promedio se tiene que las familias en Pedregal consumen energía diariamente 6 horas para cocción de alimentos. Con respecto a los equipos eléctricos, se observa que la mayoría posee un refrigerador y televisor.

Figura 33

Establo en Pedregal - Majes



Nota. Elaboración propia

Para el cálculo del biodigestor se tomará en cuenta el promedio de gasto energético en cocción de alimentos, de acuerdo al consumo por hora de una cocina que funcionaría con biogás, se tiene un total de 1,800 l/h para 6 horas de uso.

Tabla 11

Consumo promedio de biogás

Ítem	Equipo	Consumo (l/h)	Comentario	Consumo diario (l/h)
1	Cocina doméstica	300	En promedio 6 horas al día	1800

Nota. Elaboración propia

Para el diseño se considerará un volumen total de 2.0 metros cúbicos, para lo cual se considerará el diseño de un gasómetro para almacenamiento de biogás que no fuese utilizado.

Cantidad de estiércol disponible

Para calcular la cantidad de estiércol disponible, de acuerdo a los datos obtenidos en la encuesta realizada, se dispone en promedio de 20 cabezas de ganado vacuno, por lo cual en relación a la tabla 17, se tiene que por cada 100 kg de peso vivo de una vaca se tiene 8 kg de estiércol producido. Entonces:

$$n = 20$$

$$\text{Peso promedio} = 350 \text{ kilogramos peso vivo}$$

$$\text{Ratio} = \frac{8 \text{ kilogramos de estiércol}}{100 \text{ kilogramos peso vivo}}$$

Se calcula el estiércol disponible:

$$\text{Estiércol disponible} = 20 * 350 * \frac{8}{100}$$

$$\text{Estiércol disponible} = 560 \text{ kg}$$

Considerando que el ganado se encuentre estabulado por las noches se tiene un estiércol disponible de:

$$\text{Estiércol disponible} = 560 * 0.25$$

$$\text{Estiércol disponible} = 140 \text{ kg}$$

Invernadero

Según datos del Senamhi, la temperatura promedio durante todo el año en el Pedregal sería conservadoramente de 20°C por lo cual:

$$T_{amb} = 20^{\circ}C$$

Empleando el diseño de calefacción solar pasiva en el sistema, en promedio se podría obtener un incremento de 6°C; se realiza una comparación de las producciones de biogás que se tienen en los diferentes rangos de temperatura (17° - 22°).

$$P_1 = 33 \frac{l}{kg} @ 22^{\circ}C$$

$$P_2 = 35 \frac{l}{kg} @ 26^{\circ}C$$

Para el cálculo del % de mejora con la implementación del invernadero se tiene:

$$\% \text{ mejora Invernadero} = \frac{33 - 35}{35} * 100$$

$$\% \text{ mejora Invernadero} = 6 \%$$

Se tiene un incremento de producción de biogás de un 6% más del valor inicial (de 33 a 35 l/kg de biogás), lo cual se resume en que el diseño de calefacción solar pasiva mejoraría el sistema en un 6% de producción. Se debe mencionar que el tiempo de retención hidráulico también variaría, ya que al mantener el sistema a mayor temperatura el tiempo de retención se reduce.

Temperatura del sistema

Para la temperatura inicial del sistema de 20°C, de acuerdo a la tabla 9, se tiene como tiempo de retención hidráulico 65 días y una producción de biogás de 33 l/kg.

Considerando en el diseño un sistema solar de calefacción pasiva, incluyendo el material oscuro y resistente a los rayos UV, aislante en la zanja y un invernadero con planchas de policarbonato para la absorción del calor por radiación. De acuerdo a lo analizado anteriormente se tiene una mejora de producción del 6%, alcanzando una temperatura final en el sistema de 26°C, según lo estudiado por (Martí Herrero, 2019).

$$T_{\text{sistema}} = 26^{\circ}\text{C}$$

Cantidad de estiércol requerido

Con la nueva temperatura del sistema, se tendría un TRH menor según los datos de la

Tabla 9:

$$T_{\text{sistema}} = 26^{\circ}\text{C}$$

$$\text{TRH} = 50 \text{ días}$$

$$\text{Producción}_{\text{biogás}} = 35 \frac{\text{l}}{\text{kg}}$$

Por lo cual, la cantidad de estiércol sería el cociente de la cantidad de biogás requerido y la producción de biogás por kilogramo de bosta.

$$\text{Estiércol}_{\text{requerido}} = \frac{2000 \text{ kg}}{35 \frac{\text{l}}{\text{kg}}}$$

$$\text{Estiércol}_{\text{requerido}} = 57.14 \approx 58 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

$$\text{Estiércol}_{\text{requerido}} = 58 \frac{\text{kg}}{\text{día}} < 140 \frac{\text{kg}}{\text{día}} \quad \text{¡OK!}$$

Carga diaria requerida

Para el cálculo de la carga diaria requerida por el sistema, se considerará un %ST del 16%, de acuerdo a lo mencionado anteriormente, se tiene la relación 1: 3, esto quiere decir que por cada kilogramo de estiércol se añadirá 03 litros de agua. Se considerará también la densidad del estiércol equivalente a la densidad del agua, es decir, que 01 kilogramo de estiércol equivaldría a 01 litro del mismo.

$$CD = 58 + 58 * 3 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

$$CD = 232 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

Volumen del biodigestor

El volumen del biodigestor viene dado por la siguiente expresión:

$$V_{\text{biodigestor}} = V_{\text{liquido}} + V_{\text{gaseoso}}$$

El volumen líquido vendría a ser el 75% del volumen total y por ende el 25% restante vendría a ser el volumen gaseoso. Se procede a realizar el cálculo del volumen líquido y posteriormente el cálculo del volumen gaseoso.

Volumen líquido

De acuerdo a los datos obtenidos en la sección de cálculo de cantidad de estiércol requerido, se aplica la ecuación 3 para el cálculo del volumen líquido.

$$V_{\text{liquido}} = TRH * CD$$

$$V_{\text{liquido}} = 50 * 232$$

$$V_{\text{liquido}} = 11600 \text{ litros} \equiv 11.6 \text{ m}^3$$

Volumen gaseoso

El cálculo del volumen gaseoso vendría dado por la diferencia entre el volumen total y el volumen líquido.

$$V_{bbaseoso} = 15.47 - 11.6 \text{ m}^3$$

$$V_{bbaseoso} = 3.87 \text{ m}^3$$

Zanja del biodigestor

Como se mencionó anteriormente, la zanja tendrá una forma geométrica trapezoidal, según Martí Herrero, el talud recomendable para este tipo de tierras (arcillosa, arenosa y limo) es de 30° , sin embargo, se podría seleccionar también una inclinación de 15° o 7.5° . De acuerdo a la tabla 20, se selecciona un ángulo de inclinación de 30° , para el dimensionamiento de la zanja se tienen las siguientes expresiones:

$$\%V_L = 75\% \quad (9)$$

$$\%V_G = 25\% \quad (10)$$

$$a = 0.72 * r \quad (11)$$

$$b = 2.26 * r \quad (12)$$

$$p = 1.33 * r \quad (13)$$

$$A_{zanza} = 1.98 * r^2 \quad (14)$$

$$A_{b\text{obbas}} = 0.66 * r^2 \quad (15)$$

$$A_{total} = 2.64 * r^2 \quad (16)$$

Dado que todas las expresiones se encuentran en función del radio, se realizará un proceso iterativo de acuerdo a los distintos valores de la circunferencia de la manga, ésta viene definida por la siguiente ecuación:

$$C = 2 * \pi * r \quad (17)$$

Realizando el proceso iterativo con las expresiones obtenidas de la tabla 20, se tienen los siguientes resultados:

Tabla 12

Selección de Circunferencia de la Manga

α (°)	CC (m)	rr (m)	aa (m)	bb (m)	pp (m)	$AA_{zzazzzzaa}$ (m ²²)	LL (m)	DD (m)	LL/DD
30	2	0.32	0.23	0.72	0.43	0.20	58	0.64	91.0
30	3	0.48	0.35	1.08	0.64	0.46	26	0.96	27.0
30	4	0.64	0.46	1.45	0.85	0.81	15	1.28	11.0
30	5	0.80	0.58	1.81	1.06	1.27	9	1.6	6.0
30	6	0.95	0.68	2.15	1.26	1.79	7	1.9	3.0
30	7	1.11	0.80	2.51	1.48	2.44	5	2.22	2.0
30	8	1.27	0.91	2.87	1.69	3.19	4	2.54	1.0

Nota. Fuente Elaboración Propia

Para un terreno con grado de inclinación de 30° se eligió la expresión “L/D” más óptima, quiere decir un valor que se encuentre entre 5 y 10, por lo cual “L/D = 6.0” sería el valor recomendado.

Tabla 13

Parámetros de la zanja

α (°)	CC (m)	rr (m)	aa (m)	bb (m)	pp (m)	$AA_{zzazzzzaa}$ (m ²²)	LL (m)	DD (m)	LL/DD
30	5	0.80	0.58	1.81	1.06	1.27	9	1.6	6.0

Nota. Fuente Elaboración Propia

De acuerdo a la obtenido en la tabla 13, el cálculo de la longitud se realizó mediante la siguiente ecuación:

$$V_{\text{liquido}} = A_{\text{zanza}} * L$$

Reemplazando los valores se tiene que:

$$11.6 = 1.27 * L$$

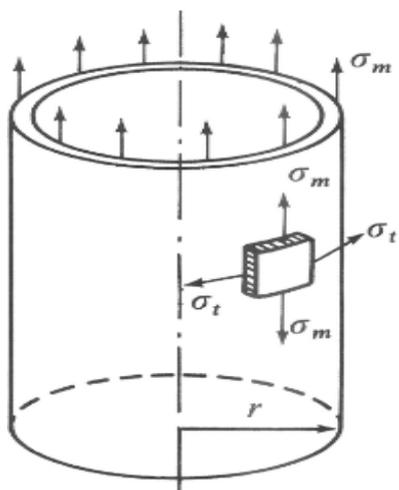
$$L = 9.13 \text{ metros}$$

Presión máxima de operación

Para calcular la presión máxima de operación del reactor, se tomará el reactor como un cuerpo cilíndrico de radio “r” y espesor “t”.

Figura 34

Esquema de un recipiente cilíndrico



Nota. Adaptado de (DOCPLAYER, s.f.)

Para el cálculo se utilizará la siguiente ecuación:

$$\sigma_t = \frac{p \cdot r}{e} \quad (21)$$

Donde:

σ_t = Tensión circunferencial

p = Presión interna

r = Radio

e = Espesor de la pared

De acuerdo a las propiedades de la geomembrana de PVC de 1000 micras de espesor tenemos que:

$$\sigma_t = 10 \text{ MPa}$$

Despejando presión se tiene:

$$p = \frac{10 * 0.001}{0.80}$$

$$p = 12.5 \text{ kPa}$$

Accesorios de la red de distribución

Para el transporte del biogás a los puntos de consumo de los gasodomésticos, se considerarán accesorios dentro de la red de distribución, tales como codos de 90°, uniones tee, uniones universales, válvulas de bola, acoples y un filtro de H₂S. Debido a la presión de trabajo del biogás, el material seleccionado será de PVC; la relación de los accesorios a emplear vendría dada por la siguiente lista:

- 02 válvula de alivio PVC 3/4"
- 02 niple roscado 3/4"
- 03 metros de tubo PVC 4"

- 05 codos PVC 90° de ¾"
- 05 universales PVC de ¾"
- 05 metros de tubería PVC de ¾"

El filtro de ácido sulfhídrico de acuerdo a lo recomendado por (Martí Herrero, 2019), se considerará para el diseño lana de hierro, la cual irá dentro de un tramo de tubería de PVC ¾" y para unirlo con la red de distribución se empleará universales de ¾" en ambos extremos. Este accesorio será ubicado a 02 metros de los puntos de consumo.

Para el cálculo de la longitud efectiva, se empleará un factor de corrección a la longitud real de 1.2, el cual será calculado dentro del dimensionamiento de la red de distribución.

Dimensionamiento de la red de distribución

Para el diseño de la red de distribución del biogás, se considerará la longitud total desde la salida del reactor hasta los puntos de consumo de los artefactos y el gasómetro para almacenar el biogás. El diámetro de la tubería recomendado por diversos autores es de ½" y ¾", sin embargo, se seleccionará el diámetro que ofrezca menor caída de presión. Las tuberías de PVC son recomendables por la facilidad de transporte dada su densidad (kg/m³), instalación y adquisición; además es conveniente emplear tuberías de PVC por la resistencia a los ácidos dado que en el sistema se cuenta con la presencia de H₂S (si se opta por tuberías de acero, estas podrían corroerse).

Toda la tubería de la red de distribución deberá protegerse contra la exposición directa de los rayos ultra violeta, ya que estos acortan su tiempo de vida, para esto las tuberías pueden ser enterradas como primera opción, para el caso en las que sean aéreas se deberá adaptar un techo el cual le haga sombra reduciendo el efecto que se tendrá sobre ellas; adicional a estos cuidados, se deberá aplicar una capa de pintura de látex a

base de agua a toda la tubería, este tipo de pintura presenta buena resistencia a los rayos ultravioleta y alargaría el tiempo de vida útil.

Tabla 14

Valores Recomendados para el Diámetro de Tubería de acuerdo al Caudal de Biogás Requerido

Longitud (m)	Tubería Galvanizada			Tubería de PVC		
	20	60	100	20	60	100
Caudal (m ³ /h)						
0.1	½"	½"	½"	½"	½"	½"
0.2	½"	½"	½"	½"	½"	½"
0.3	½"	½"	½"	½"	½"	½"
0.4	½"	½"	½"	½"	½"	½"
0.5	½"	½"	¾"	½"	½"	½"
1.0	¾"	¾"	¾"	½"	¾"	¾"
1.5	¾"	¾"	1"	½"	¾"	¾"
2.0	¾"	1"	1"	¾"	¾"	1"

Nota. Los valores mostrados en la tabla son válidos para caudales hasta 1.5 m³/h, longitudes hasta 100 m (tubería de PVC) y caídas de presión máximas de 5 mbar. Adaptado de (Werner Kossmann).

Dado que el caudal requerido por el sistema es de 0.33 m³/h y la longitud total no supera los 100 metros, se seleccionará una tubería de ¾" y se procederá a calcular la pérdida de carga aplicando la ecuación de Renouard Lineal.

$$\Delta p = 23200 * \rho_r * L_e * Q^{1.82} * D^{-4.82}$$

Se sabe que:

$$\rho_r = 0.90$$

$$L_e = 1.2 * 60 = 72 \text{ m}$$

$$QQ = 0.33 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$D = 19.05 \text{ mm}$$

Para lo cual se tiene una pérdida de carga de:

$$\Delta p = 0.14 \text{ mbar} < 5 \text{ mbar} \text{ ¡OK!}$$

Gasómetro

Se considerará un volumen de almacenamiento de 3 m³ de biogás, como material de fabricación se considerará geomembrana PVC y 01 manómetro para monitorear la presión al interior del gasómetro. Por seguridad se considerará una válvula de alivio en caso la presión del biogás exceda la del material.

$$V_{\text{bbasómetro}} = 3 \text{ m}^3$$

Conservadoramente se tiene una longitud de 4 metros, por lo cual se procede al cálculo del radio:

$$L = 2\pi r$$

$$= 2\pi r$$

$$r = 0.64 \text{ m}$$

Con el radio deducido se procede a calcular el área de un extremo del gasómetro, seguidamente se calculará la longitud de geomembrana que se empleará:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * 0.64^2$$

$$A = 1.28 \text{ m}^2$$

Como sabemos, el volumen es igual al producto del área y la longitud, entonces se tiene:

$$V = A * L$$

$$3 = 1.28 * L$$

Se despeja longitud y se tendría que:

$$L = 2.34 \text{ m}$$

Por lo tanto, para el gasómetro se empleará 2.34 metros de geomembrana de circunferencia de 4 m.

Resumen de resultados

Como se muestra en los cálculos realizados, se tiene en promedio un requerimiento de biogás de 2.00 m³/día, este volumen de biogás se emplearía como energía térmica para cocción de alimentos reemplazando de esta manera el uso del GLP. La cantidad restante de biogás se almacenaría en el gasómetro.

Para el diseño se tiene un tiempo de retención hidráulico de 50 días dado que la temperatura del sistema es de 26°C (esta temperatura se obtendría con la implementación del sistema de calefacción solar pasiva). Como sustrato se consideró solamente estiércol de ganado vacuno, el cual alimentaría al reactor de manera diaria mezclándolo con agua en relación 1:3.

La tubería que se escogió para el transporte del biogás es de PVC de Ø ¾", estas son comerciales y de fácil adquisición. En el cálculo de la pérdida de carga se consideró la longitud de la tubería del reactor al punto de consumo y del gasómetro.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS PRESUPUESTAL

Para la puesta en marcha del biodigestor tubular se requerirá de los materiales mostrados en la tabla 15.

Tabla 15

Relación de materiales del biodigestor tubular

Ítem	Descripción	Cantidad	P / U	Costo
1	Tubería ¾" PVC x 5m	15	S/ 32.00	S/ 480.00
2	Válvula de alivio ¾"	2	S/ 149.00	S/ 298.00
3	Niple roscado ¾"	2	S/ 1.20	S/ 2.40
4	Tubo PVC 4" x 3m	1	S/ 28.20	S/ 28.20
5	Plancha de policarbonato (2.9x1.05 m)	7	S/ 149.00	S/ 1,043.00
6	Geomembrana 1 mm - PVC (2.5x1.0 m)	13	S/ 149.00	S/ 1,937.00
7	Codos PVC 90° - ¾"	5	S/ 4.70	S/ 23.50
8	Universales PVC – ¾"	5	S/ 7.90	S/ 39.50
9	Lata de pintura a base de agua	1	S/ 48.00	S/ 48.00
Total				S/ 3,899.60

Nota. Fuente. (Elaboración propia)

De acuerdo a lo mostrado en la tabla anteriormente, se tiene que para la puesta en marcha del biodigestor el precio estimado en materiales es de S/ 3,899.60. Se están considerando tanto el material del biodigestor como los accesorios que forman parte de la red de distribución. Con respecto a los gastos de mano de obra para la instalación, estos pueden ser cubiertos por los agricultores.

Para determinar la viabilidad del proyecto se procederá a realizar el cálculo de los indicadores financieros VAN y TIR.

Para el cálculo del flujo de caja anual neto se calculará considerando el gasto que se requiere para principalmente para la cocción de alimentos. Se sabe que un balón de gas de

10 kg asciende en promedio a un precio de S/. 55.00, dado que este se consume mensualmente, se considerará:

$$\text{Gasto en balón de gas} = 55 * 12$$

$$\text{Gasto en balón de gas} = \text{S}/. 660.00$$

Cálculo del VAN

El tiempo de vida de la geomembrana es alrededor de 10 años, se considerará 10 periodos para el cálculo del valor actual neto.

Tabla 16

Flujo de caja neto por 10 periodos de tiempo

PERIODOS	MONTO
Inversión inicial	-S/3,899.60
Periodo 1	S/660.00
Periodo 2	S/660.00
Periodo 3	S/660.00
Periodo 4	S/660.00
Periodo 5	S/660.00
Periodo 6	S/660.00
Periodo 7	S/660.00
Periodo 8	S/660.00
Periodo 9	S/660.00
Periodo 10	S/660.00

Nota. Fuente. Elaboración propia

Para realizar el cálculo del valor actual neto, se considerará de manera conservadora una tasa dedescuento del 10%, dado que es la tasa que normalmente emplean las entidades financieras. Al realizar el cálculo del VAN por los 10 periodos de tiempo, se obtiene como resultado S/. 155.81, este valor al ser positivo, se interpreta como viabilidad en el proyecto.

Cálculo del TIR

Para realizar el cálculo de la tasa interna de retorno, primero hacemos cero el valor actual neto. Efectuando el cálculo con los valores de los diferentes periodos mostrados en la tabla 16, se obtiene una TIR del 11%; dado que el valor obtenido es mayor a la tasa de descuento elegida, el proyecto se hace viable.

Como se mencionó anteriormente, el presente trabajo de investigación tiene carácter de inversión social más no de inversión privada, es por ello que con el apoyo del gobierno solventando la inversión inicial, beneficiaría a los hogares en las zonas rurales del Pedregal, distrito de Majes.

CONCLUSIONES

- Se realizan los cálculos para el diseño del biodigestor tubular, se calculó un estiércol requerido de 58 kg/día, para mantener la temperatura en 26°C se consideró el diseño de un invernadero para el cual se emplearía planchas de policarbonato. Como carga diaria se alimentará el reactor con 232 l/día. Para el ancho de geomembrana de acuerdo a los cálculos se tiene 5 m, con un radio de 0.8 m. La caída de presión calculada es de 0.14 mbar, este valor se encuentra dentro de la tolerancia. De esta manera se conseguiría producir los 2 m³ de biogás requeridos, los cuales reemplazarían a los combustibles convencionales como fuente térmica para cocción de alimentos.
- De acuerdo al análisis económico que se realizó, según los 10 periodos considerados se tiene un valor neto de S/.155.81 y una TIR de 11%, el proyecto se hace viable a partir del décimo periodo. Se debe considerar que el presente trabajo de investigación es de proyección social para que el gobierno pueda solventar el diseño y puesta en marcha.
- Empleando el biogás se conseguiría evitar la emisión de los gases resultantes de la combustión del GLP, los cuales al ser de efecto invernadero calientan la superficie terrestre, de esta manera se tendría un impacto ambiental positivo.
- La hipótesis inicial es aceptada dado que se conseguiría un volumen de 2 m³ de biogás requeridos como fuente de energía térmica para cocción de alimentos en los hogares de la localidad del Pedregal. Adicionalmente se obtiene un ahorro económico durante el tiempo de vida del biodigestor.

RECOMENDACIONES

- La ubicación del biodigestor es muy importante, este debe estar lo más cerca al establo o el lugar designado para las cabezas de ganado, de esta manera, se podría aprovechar de la mejor manera la máxima cantidad de materia orgánica disponible.
- Se recomienda revisar regularmente la cantidad de agua condensada y drenarla cuando sea necesario para evitar de esta manera el bloqueo del sistema de tuberías de biogás.
- Se recomienda realizar periódicamente el mantenimiento al filtro de H₂S, un indicador sería verificar que tan oxidado se encuentra la lana de acero. Otro indicador sería la emanación de un olor desagradable al momento de abrir la válvula de paso.
- Para las tuberías que se encuentren expuestas directamente a los rayos UV, se recomienda aplicar una capa de pintura de látex con base de agua, de esta manera se alargaría el tiempo de vida y se evitaría el cambio de conexiones.
- En caso se requiera monitorear los parámetros principales del sistema de manera automática, se recomienda el uso de Arduino, los cuales, mediante un display y sensores, podrían mostrar diferentes parámetros como por ejemplo la concentración de metano, la presión de salida del biogás, la temperatura interna del sistema, el grado de acidez, etc.

BIBLIOGRAFIA

- Arutunov, V. (2019). Utilization of renewable sources of biogas for small - scale production of liquid fuels. *Catalysis Today*, 5.
- Benavente, E. M. (2019). Purificación de metano por biofiltración de biogás utilizando compost como material soporte. . *TESIS*. AREQUIPA, AREQUIPA, PERU: REPOSITORIO-UCSM.
- biovec ingeniería ambiental. (2019, Julio 09). *biovec.net*. Retrieved from <https://biovec.net>
- DOCPLAYER*. (n.d.). Retrieved from <https://docplayer.es/14200613-Tema-vi-calculo-de-recipientes-de-pared-delgada.html>
- Erika Winqvist, P. (2019). Is biogas an energy or sustainability product? . *Journal of Cleaner Production*.
- European Biogas Associator. (2020). *EBA Statistical Report 2020*. Austria.
- FAO. (2011). *MANUAL DEL BIOGÁS*. Santiago, Chile.
- FAO. . (2019, 08 29). Guía teórico-práctica sobre el biogás y los biodigestores. Buenos Aires, Argentina: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Hees, U. W. (1989). Biogas plants in animal husbandry. *Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien GATE*, 62.
- Huayta, J. Q. (2019). EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS DEL USO DE BIOGÁS PRESURIZADO PRODUCIDO EN EL BIODIGESTOR DE ALTA EFICIENCIA DE LA UCSM, EN LA IRRIGACIÓN EL PEDREGAL MAJES-AREQUIPA. *TESIS*. AREQUIPA, AREQUIPA, PERÚ: REPOSITORIO-UCSM.

- INEI. (2017). *INEI CORREO INSTITUCIONAL*. Retrieved from <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/el-834-de-los-hogares-del-pais-utilizan-gas-para-preparar-los-alimentos-9805/>
- Jorge Luis Ortiz Carrillo, J. A. (2016). Estudio cinético de bacterias metanogénicas a diferentes temperaturas. *Bistua*, 9.
- Lucia Constanza Corrales MSc, D. (2015). Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. *Nova*, 15-16.
- Mallea, M. (2018). ESTUDIO PARA LA OPTIMIZACIÓN DE PARÁMETROS PARA LA GENERACIÓN DE BIOGÁS EN UNA PLANTA TIPO HIGH PERFORMANCE TEMPERATURE CONTROLLED - HPTC DE DOBLE CÁMARA HIDRÓLITICA APARTIR DE DESECHOS DE CAMAL DE ESTIERCOL DE VACUNAS EN EL FUNDO LA CATÓLICA DE MAJES. Arequipa: Repositorio UCSM.
- Martí Herrero, J. (2019). *Biodigestores familiares, Guía de diseño y manual de instalación*. ISBN: 978-9942-36-276-6.
- Martí-Herrero, J. A. (2014). Biofilm de bajo costo para mejorar la digestión anaeróbica de clima frío con digestores tubulares. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 81-91.
- Muñoz, S. G. (2012, Octubre 31). DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y PUESTA A PUNTO DE UN BIODIGESTOR TUBULAR CARAZO - NICARAGUA. Nicaragua: Universidad Carlos III de Madrid.
- Nicolae Scarlat, J. (2017). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 16.

Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2019). Energías Renovables: experiencia y perspectivas en la ruta del Perú hacia la transición energética.

Palacios, W. A. (2016, Junio). DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO. Piura, Piura, Perú: Repositorio Institucional PIRHUA.

Peña, M. M. (n.d.). DIAGNÓSTICO DE LOS BIODIGESTORES EN CAJAMARCA; INVESTIGACIONES REALIZADAS EN LA UNC. CAJAMARCA, PERÚ: UNC.

PERÚ, B. C. (2022). *AUMENTO DE LAS EXPORTACIONES TRADICIONALES EN 21.4% ANUAL*. Lima.

PERÚ, S. (2022, 08 29). *IDESEP SENAMHI PERÚ*. Retrieved from IDESEP SENAMHI PERÚ:
<https://idesep.senamhi.gob.pe/geovisoridesepeg/go?accion=05.04.005.03.001.512.0000.00.00>

RAMÍREZ-COUTIÑO, V. Á.-V.-H.-S. (Septiembre 2017). Generación de Biogás en un Biodigestor Automatizado. *Revista de Energía Química y Física*, 1 - 6.

SOLUCIONES PRÁCTICAS. (2011, 11 23). Retrieved from <https://practicalaction.org.pe/>

Sotomayor, J. X. (2021, Febrero). ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD PARA LA INSTALACIÓN DE UNA PLANTA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA CON EL USO DE BIODIGESTORES TUBULARES EN EL DISTRITO DE SAN AGUSTÍN DE CAJAS - HUANCAYO. Lima, Lima, Perú: Universidad de Lima.

Sucre, L. H.-P.-M.-L.-C. (2020, Mayo 18). *Energía para el futuro*. Retrieved from Energía para el futuro: <https://blogs.iadb.org/energia/es/la-crisis-de-los-precios-de-petroleo-ante-el-covid-19-recomendaciones-de-politica-para-el-sector-energetico/>

USGS. (n.d.). *pH Scale*. Retrieved from <https://www.usgs.gov/media>

Werner Kossmann, U. P. (n.d.). *Biogas Digest. Volume II. Biogas - Application and Product Development. Information and Advisory Service on Appropriate Technology (ISAT)*.

Yasmin, A. (2018). *ANALISIS DE CICLO DE VIDA DEL BIOMETANO COMO COMBUSTIBLE PARA EL TRANSPORTE EN COMPARACIÓN CON EL DIESEL Y EL GAS NATURAL*. Arequipa: Repositorio UCSM.

ANEXOS

Anexo 1: Tablas Utilizadas en el Trabajo de Investigación

Tabla 17*Cantidad de Estiércol Diario Producido por Tipo de Animal*

Animal	Estiércol diario por cada 100 kg de peso vivo (kg)
Vaca	8
Cerdo	4
Cabra / Oveja	4
Conejo	3
Caballo	7
Humano Adulto	0.4 por adulto
Humano Niño	0.2 por niño

Nota. Fuente, (Martí Herrero, 2019)**Tabla 18***Cálculo de Estiércol Disponible*

Estiércol	Estiércol Disponible
Estabulados	<i>estiércol diario</i>
Estabulados solo una noche	$0.25 * \text{estiércol diario}$
Estabulado un N° de horas	$\frac{n}{24} * \text{estiércol diario}$

Nota. Fuente, (Martí Herrero, 2019)**Tabla 19***Relación de Temperatura y TRH*

Temperatura (°C)	Tiempo de Retención Hidráulico (días)
35	25 – 30

30	30 – 40
25	35 – 50
20	50 – 65
15	65 – 90
10	90 – 125

Nota. Fuente, (Martí Herrero, 2019)

Tabla 20

Parámetros de Dimensionamiento de Zanjas de Biodigestores Tubulares

α °	% VL	% VB	a (m)	b (m)	p (m)	A_{zanja} (m ²)	A_{total} (m ²)
0	88	12	1.49 * r	1.49 * r	1.57 * r	2.34 * r ²	2.65 * r ²
0	83	17	1.41 * r	1.41 * r	1.57 * r	2.22 * r ²	2.67 * r ²
0	80	20	1.34 * r	1.34 * r	1.57 * r	2.10 * r ²	2.63 * r ²
7.5	80	20	1.23 * r	1.63 * r	1.54 * r	2.20 * r ²	2.75 * r ²
15	76	24	1.02 * r	1.82 * r	1.49 * r	2.12 * r ²	2.80 * r ²
30	75	25	0.72 * r	2.26 * r	1.33 * r	1.98 * r ²	2.64 * r ²
45	65	35	0.43 * r	2.57 * r	1.07 * r	1.61 * r ²	2.47 * r ²

Nota. Fuente (Martí Herrero, 2019)

Tabla 21

Temperatura de trabajo de un biodigestor de acuerdo a la eco región y diseño solar

Eco región típica (msnm)	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del biodigestor (°C)		
		Sin diseño solar	Con diseño solar	Criterios
Trópico cálido (<300)	28 – 32	28 – 32	No necesita diseño solar	
Trópico (300-1000)	23 – 27	23 – 27	No necesita diseño solar	

Valles (1000-2000)	18 – 22	18 – 22	23 – 27	Color oscuro + aislante zanja
Valles altos (2000-3000)	13 – 27	13 – 27	18 – 22	Color oscuro + aislante zanja +
Altiplano (3000-4500)	8 – 12	8 – 12	13 – 17	invernadero

Nota. Fuente (Martí Herrero, 2019)

Tabla 22

Equivalencias de 1 m³ de biogás

Tipo de Energía	Energía
Energía (65% CH ₄)	5,647 kcal
Energía (65% CH ₄)	6.56 kWh
Madera	1.6 kg
Bosta seca	1.2 kg
Alcohol	1.1 litros
Gasolina	0.75 litros
Gas-oil	0.65 litros
Gas natural	0.76 m ³
Carbón	0.7 kg
Calor útil (65% CH ₄ ; rendimiento 50%)	3.3 kWh _t
Electricidad útil (65% CH ₄ ; rendimiento 50%)	2 kWh _e

Nota. Fuente (Martí Herrero, 2019)

Tabla 23

Longitudes de biodigestores tubulares según circunferencia

Circunferencia (m)	Ancho de rollo (m)	r (m)	Ø (m)	Longitud biodigestor tubular		
				Mínima (m)	Máxima (m)	Óptima (m)
2	1	0.32	0.64	3.2	6.4	4.8
3	1.5	0.48	0.95	4.8	9.5	7.2

4	2	0.64	1.27	6.4	12.7	9.5
5	2.5	0.80	1.59	8.0	15.9	11.9
6	3	0.95	1.91	9.5	19.1	14.3
7	3.5	1.11	2.23	11.1	22.3	16.7
8	4	1.27	2.55	12.7	25.5	19.1
9	4.5	1.43	2.86	14.3	28.6	21.5
10	5	1.59	3.18	15.9	31.8	23.9
14	7	2.23	4.46	22.3	44.6	33.4

Nota. Fuente (Martí Herrero, 2019)

Anexo 2: Índice de Tablas

Índice de Tablas

Tabla 1	29
Tabla 2	63
Tabla 3	65
Tabla 4	71
Tabla 5	73
Tabla 6	74
Tabla 7	75
Tabla 8	79
Tabla 9	82
Tabla 10	89
Tabla 11	95
Tabla 12	95
Tabla 13	99
Tabla 14	102
Tabla 15	103
Tabla 16	113
Tabla 17	113
Tabla 18	113
Tabla 19	114
Tabla 20	114
Tabla 21	115
Tabla 22	115

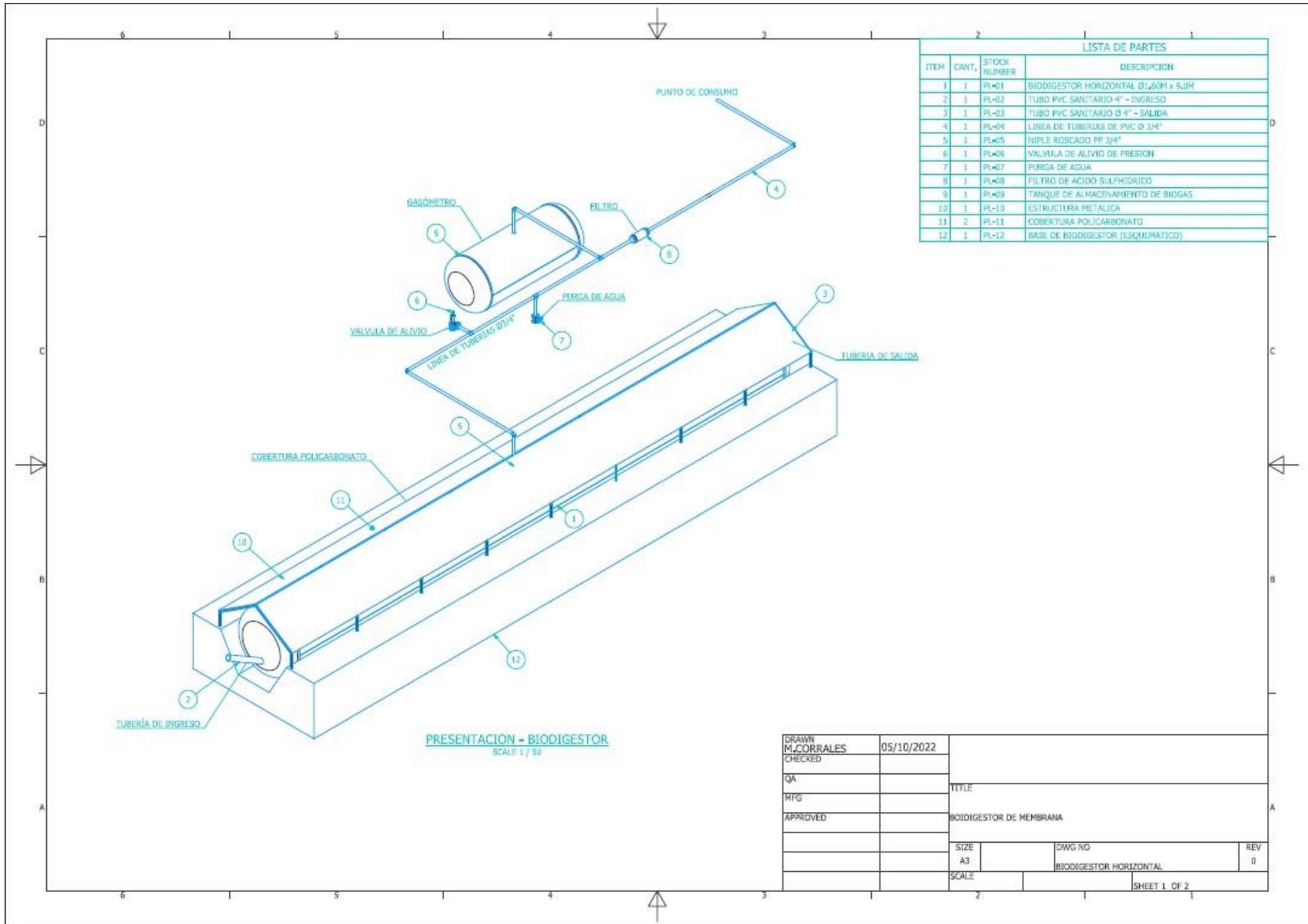
Anexo 3: Índice de Figuras

Índice de Figuras

Figura 1	35
Figura 2	36
Figura 3	37
Figura 4	39
Figura 5	39
Figura 6	41
Figura 7	42
Figura 8	42
Figura 9	43
Figura 10	45
Figura 11	49
Figura 12	49
Figura 13	51
Figura 14	52
Figura 15	53
Figura 16	56
Figura 17	57
Figura 18	58
Figura 19	60
Figura 20	61
Figura 21	61
Figura 22	63
Figura 23	64
Figura 24	66

Figura 25.....	70
Figura 26.....	71
Figura 27.....	72
Figura28.....	78
Figura 29.....	84
Figura 30.....	87
Figura 31.....	88
Figura 32.....	86
Figura 33.....	887
Figura 34.....	963

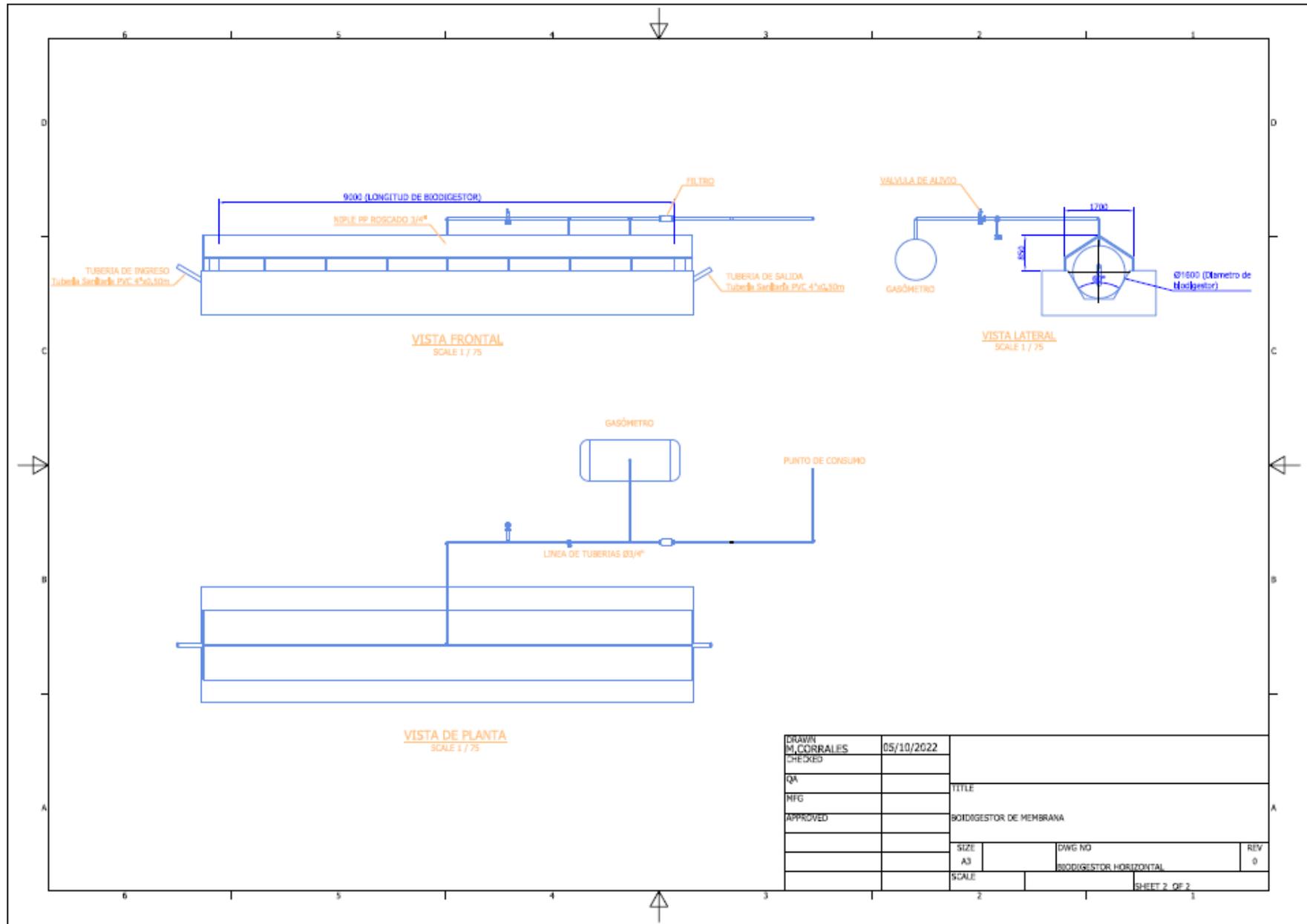
Anexo 5: Planos del biodigestor



LISTA DE PARTES			
ITEM	CANT.	STOCK NUMBER	DESCRIPCION
1	1	PL-01	BIODIGESTOR HORIZONTAL Ø1,60M x 9,0M
2	1	PL-02	TUBO PVC SANITARIO 4\" - INGRESO
3	1	PL-03	TUBO PVC SANITARIO Ø 4\" - SALIDA
4	1	PL-04	LÍNEA DE TUBERÍAS DE PVC Ø 3/4\"
5	1	PL-05	NIPLE ROSCADO PP 3/4\"
6	1	PL-06	VALVULA DE ALIVIO DE PRESTON
7	1	PL-07	PURGA DE AGUA
8	1	PL-08	FILTRO DE ACIDO SULFHDrico
9	1	PL-09	TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE BIOGAS
10	1	PL-10	ESTRUCTURA METALICA
11	2	PL-11	COBERTURA POLICARBONATO
12	1	PL-12	BASE DE BIODIGESTOR (ESQUIMATICO)

PRESENTACION - BIODIGESTOR
SCALE 1 / 50

DRAWN	M. CORRALES	05/10/2022	
CHECKED			
QA			TITLE
MFG			BIODIGESTOR DE MEMBRANA
APPROVED			
		SIZE	DWG NO
		A3	BIODIGESTOR HORIZONTAL
		SCALE	REV 0
			SHEET 1 OF 2



Anexo 6: Cotización de Biodigestor



RUC: 20101391397

Ay. Pedro Píota 914
S.J. de Miraflores - Lima 29
Tel: 6178787 Fax: 6178700

Ingeniero
Manuel A. Corrales
Arequipa

COTIZACION N°
CAT-05 149/2021

Fecha: 26/05/2021

Item	Cant.	Descripción	Unid	P. Parcial US\$	Total US\$
		DESCRIPCION			
1	1	Biodigestores en geomembrana de PVC de 1.0 mm color Negro con anti UV Marca: CIDELSA Con tapas en ambos extremos donde se instalan tres (03)mangas de geomembrana PVC donde se instalan tubos PVC sanitario de 4" diametro X 0.50m para Carga y Salida de Efluentes. Con abrazaderas regulables de acero inoxidable. Un Niple roscado de PP de 1" diámetro para salida de biogás instalada en la parte superior media del biodigestor. Tiene dos contratueras de polipropileno (PP). Todo el biodigestor sellado por alta frecuencia (HF). Se adjunta un kit de reparación con 1/8 gln de pegamento PVC y parches. Lleva un adaptador de PVC de 2" para instalar una llave de paso roscada de 2" diam. Medidas: 1.27 m de diámetro x 9.50 m de largo. Volumen Total: 12 M3	UND	\$660,00	\$660,00
2	1	Gasómetro de geomembrana de PVC bicapa de 0.60 mm grosor y color gris/negro Marca: CIDELSA Modelo ALMOHADA de 1.40m de ancho x 3.0m long. Llevará 01 niple de PVC de 1" diámetro, en una de los lados para la entrada/salida del Biogas que almacene. Volumen aproximado: 2.0m3	UND	\$130,00	\$130,00
				Sub - Total:	\$790,00
				IGV 18%:	\$142,20
				TOTAL:	\$932,20

Validez de Oferta: 05 días

T. de Entrega: 15 días calendario

Lugar de entrega: En Agenciade Transporte en Lima, que indique el Cliente. Flete a cargo del Cliente

Forma de Pago: 50% con OC y saldo antes del Despacho

Garantía por defectos de fabricación: 01 año

Cta. Cte dólares CIDELSA en BCP: 1920059147153. CCI: 002-192-000059147153-37

Sin otro en particular, quedamos a la espera de sus ordenes.

Edmundo Rodríguez A.
Jefe Línea Biodigestores
Cel: 51 1 986 622 511; 511 995609664

Anexo 7: Catálogos



Planta de generación eléctrica a biogás SNV - Tarapoto

DELTA BIOGÁS
BIODIGESTOR PRODUCTIVO

Energía y fertilizantes



Biodigestor laguna cubierta
4,500 m³ - Trujillo

cidelsa
una nueva visión del mundo

50
AÑOS

ACCESORIOS

■ SEPARADOR DE SÓLIDOS

Separadores de sólidos para granjas y establos.

Extrusores y de cascada fabricadas de acero inoxidable.



■ BOMBAS DE BIOGÁS ELECTRICA Y SOLARES

Para levantar la presión y flujo de Biogás con capacidad de bombeo desde 1,5 m³/hr, 240 mbar de presión de salida, 20W, 220 V.

Consulte otras potencias



■ TERMA DE AGUA CALIENTE

Ideal para uso en pequeño establo. Con rendimiento de 7L/min, presión de agua para encendido: 10PSI y 16 mbar de presión de biogás requerido.



■ GENERADOR A BIOGÁS DE 5Kw - 500Kw

Sistema de control automático.



■ ANTORCHA A BIOGÁS

Fabricadas en acero inoxidable, encendido automático y sistema de seguridad.



■ CRIADORA INFRAROJA

Esta es una criadora para calefacción de terneros, cerdos o aves, que utiliza biogás como combustible y tiene alta eficiencia de combustión. Está fabricada de acero inoxidable para larga duración. Es ideal para reemplazar criadoras eléctricas, dado que es de fácil mantenimiento sin partes que se dañen con frecuencia.



■ COCINAS

Utiliza el biogás para cocinar, es una cocina adaptada. Con su uso se elimina totalmente el humo dentro de las viviendas evitando el empleo de leña o la tala indiscriminada de los árboles.

Dispositivo de Seguridad: Termocupla y válvula solenoide (Dispositivos de seguridad que detienen el paso del biogás en caso que la criadora se apague).

ALGUNAS EXPERIENCIAS EXITOSAS DESARROLLADAS EN EL PAÍS



Biodigester tubular - Tocache, San Martín.



Gasómetro almohada, Proyecto IICA - Matucana.



Proyecto Telefónica - Pachacamac.



Biodigester tubular dos salidas, Proyecto PRONAMACHCS - Apurímac.



Biodigester tubular, Proyecto UDEP - Piura.



Biodigester andino de 30m³ - Proyecto Care, Puno.



Biodigester Proyecto Café, UNALM - Villa Rica - Pasco.

BRINDAMOS CURSOS DE CAPACITACIÓN SOBRE BIODIGESTORES A INSTITUCIONES Y ORGANIZACIONES PÚBLICAS Y PRIVADAS



   YouTube
www.cidelsa.com



Perú
Av. Pedro Miota N° 910
San Juan de Miraflores, Lima, Perú
T: +511 617.8787

E-mail: info@cidelsa.com



M martell



Látex Superior
ACABADO MATE
Interior / Exterior

Te da más ...

M
martell



COLORES acento



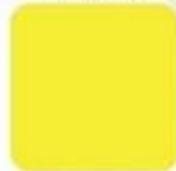
Azul Naval



Azul eléctrico



Teja Andina



Amarillo Cromo



Pistachio



Sábila



Hierba Buena



Tangelo



Naranja



Rojo Bandera



Rosa Bebé



Amarena



Fucsia

en ningún caso pueden considerarse como exactos.



Látex SUPERIOR

CARACTERÍSTICAS

- Dilución: 1/2 - 3/4 L. de agua
- Aplicación: Brocha o soplete
- Secado al tacto: 30 - 60 minutos
- Repintado: Después de 12 horas
- Rendimiento: De 20 a 25 m² x galón
- Acabado: Mate

VENTAJAS:



INSTRUCCIONES:

- Aplicar en superficies limpias, sin grasa, polvo y otras sustancias contaminantes.
- Agítase bien antes de usar para homogenizar el color y la viscosidad.
- En un recipiente agregar aproximadamente para 4 L. de látex, Martell entre 1/2 a 3/4 de litro de agua, remover la mezcla y aplicar con brocha o rodillo de lana, tarda entre 30 a 60 minutos en secar.

Pintura Látex Superior, fórmula a base de látex vinil y pigmentos especialmente seleccionados de alta resistencia y solidez a la luz. La superficie a pintar debe estar libre de suciedad, grasa, aceite, óxido, pintura suelta, humedad y cualquier material extraño.

Superficies Nuevas:

Aplicar Imprimante acrílico Martell, luego una vez seco, aplicar Látex Superior como acabado.

Superficies con Grietas o Rajaduras:

Para obtener una pared lisa, empastar con Pasta Mural Martell, una vez seco lijar con lija #300, eliminar completamente el polvillo y aplicar Látex Superior Martell.

Superficie Pintada:

En caso de repintado, se recomienda lijar bien, luego lijar con lija #300, eliminar completamente el polvillo y aplicar Látex Superior Martell.



MANDARINA

BOUQUET

FUCSIA

LILA

CELESTE

SUNSET

m martell látex

m martell imprimador

m martell pasta

m martell sellador

Fabricado por Química Martell S.A.C.
 Calle Santa Ana Mz. "E" Lt. 51-B Trapiche
 Chacra Cerro - Comas, Lima - Perú

Atención al cliente:
 Telf. : 714 - 1840 / 714 - 1841
ventas@martellsac.com.pe / www.martellsac.com.pe
 RUC: 20501820025
 PRODUCTO PERUANO

m martell
te da más..!

GEOMEMBRANA PVC

DESCRIPCIÓN

Estas geomembranas se caracterizan principalmente por su alta flexibilidad biaxial que le permite acomodarse a la superficie de apoyo incluso en asentamientos diferenciales importantes, y por mantener sus propiedades constantes en un amplio rango de temperaturas.

SOLUCIONES

Ideales Reservorios agrícolas para almacenamiento de aguas limpias, Lagos ornamentales, Cubiertas arquitectónicas (Tensó estructuradas), Piscinas recreativas, Cubiertas y terrazas.



AGRO



MINERIA



CONSTRUCCION

SOLVENTE THF (TETRAHIDROFURANO)

DESCRIPCIÓN

Disolvente TETRAHIDROFURANO (THF) para la realización de la soldadura química con láminas PVC

VENTAJAS

Presenta un rápido presecado, y elevada velocidad de desarrollo de la fuerza cohesiva.

BENEFICIOS

Permite uniones prácticamente inmediatas, mejorando los rendimientos de mano de obra..

Proporciona una soldadura y remate de gran fiabilidad.



Presentación

La geomembrana PVC vienen en presentaciones de 1.50 de ancho con espesores de :

0.50 mm
0.75 mm
1.00 mm
1.50 mm
2.00 mm





GEOMEMBRANA HDPE

60 - 1.50 mm



1. GEOMEMBRANA

Plásticos Agrícolas y Geomembrana S.A.C. fabricante de Geomembrana de Polietileno de alta densidad, fabricado bajo estrictos controles de calidad, con 97.5% de resina virgen de HDPE con 2.5% de Negro de carbón como estabilizador a rayos ultravioleta, aditivos antioxidantes y estabilizadores térmicos, los cuales permiten garantizar dicho material por 5 años. Pueden fabricarse en anchos de 6.5 a 8.00 m y en espesores de 0.50, 0.75, 1.00, 1.50 y 2.00 mm.

2. APLICACIONES

- Revestimiento de canales.
- Revestimiento de techos, cimentaciones, cisternas, techos, pozas, embalses, presas, etc
- Barreras impermeables (horizontales y verticales).
- Pad y pond de lixiviación.
- Depósitos de relaves.
- Reservorios.
- Presas.
- Lagunas artificiales.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

PROPIEDADES RELEVANTES	NORMA	UND	VALOR	FRECUENCIA DE ENSAYO
Espesor Promedio	ASTM D 5199	mm	150	por rollo
Espesor Mínimo		mm	135	
Densidad (mínimo)	ASTM 1505 ASTM D 792	g/cc	0.94	90.000 kg
Resistencia a la Tracción (V.M. Mínimo) (1) - Resistencia a la Rotura - Resistencia en Fluencia - Elongación a la Rotura - Elongación a la Frecuencia	ASTM D 6693 Tipo IV	KN/m KN/m % %	40 22 700 12	9.000 kg
Resistencia al Rasgado (V.M. Mínimo)	ASTM D 1004	N	191	20.000 kg
Resistencia al Punzonado (V.M. Mínimo)	ASTM D 4833	N	480	20.000 kg
Envejecimiento medio ambiental (SCR)	ASTM D 5397	hr	300	Por GRI GM-10
Contenido de negro de carbono	ASTM D 4218	%	2.0 - 3.0	9.000 kg
Dispersión de negro de carbono (2)	ASTM D 5596	-	Cat. 1 ó 2	-
Tiempo Oxidación Inducida OIT Alta Presión (3)	ASTM D 5885	min.	>400	por formulación
Envejecimiento al Horno a 85°C (% Min Ret de OIT a Alta Presión después de 90 días)	ASTM D 5721 ASTM D 5885	min.	>80	por formulación
Resistencia al UV (% Min Ret de OIT a Alta Presión después de 1600 horas)	ASTM D 7238 ASTM G 154 ASTM D 5885	min.	>50	por formulación
Rollo Ancho (4)	-	m	7.00	-
Rollo Largo	-	m	150	-
Rollo Área	-	m ²	1050	-
Unidad de Venta	-	m ²	-	-

- (1) Dirección de máquina (DM) y dirección transversal a máquina (DTM) el valor medio de los resultados está en base a 5 ensayos en cada dirección.
- a) Elongación en el punto de fluencia está calculado con un espacio entre mordazas de 33 mm.
- b) Elongación en el punto de rotura está calculado con un espacio entre mordazas de 50 mm.
- (2) La dispersión de negro de carbono (sólo los aglomerados esféricos) mediante 10 observaciones al microscopio (9 en categoría 1 ó 2 y 1 en categoría 3).
- (3) En fábricas hay la opción de seleccionar uno de los métodos de OIT mostrados en la Tabla para evaluar el contenido de antioxidante en la geomembrana.
- (4) En fábrica hay la opción de fabricar en ancho de 6.50 m hasta 8.00 m.

Av. Néstor Gambetta No. 6429 Callao - Perú
 Telf. : (51-1) 613-6666 Fax: (51-1) 577-0041
 infraestructura@prodac.com.pe
www.prodac.com.pe